Univerzitet u Novom Sadu
Prirodno-matematički fakultet
Departman za fiziku

Obrada nastavne teme „ Specijalna teorija relativnosti“ u četvrtom razredu gimnazije kroz računske primere

-MASTER RAD-

Mentor: prof. dr Maja Stojanović

Kandidat: Ivana Ljubinković

Novi Sad, 2019.

Veliku zahvalnost dugujem svojoj mentorki dr Maji Stojanović na ukazanoj pomoći i stečenom znanju koje mi je nesebično pružala prilikom studiranja.

Zahvalnost za razumevanje, podršku i bodrenje tokom svih godina studiranja dugujem dragim ljudima i porodici i ujedno njima posvećujem rad.

Ljubinković Ivana

Sadržaj

1. Uvod

Nastava fizike ima za cilj da osigura da svi učenici steknu bazičnu jezičku i naučnu pismenost i da napreduju ka realizaciji odgovarajućih standarda obrazovnih postgnuća. Osposobljava učenike da rešavaju probleme i zadatke u novim i nepoznatim situacijama. Stiču sposobnost izražavanja i obrazlaganja svog mišljenja, diskutuju sa drugima, razvijaju motivisanost za učenje i zainteresovanost za predmetne sadržaje. Različitim tipovima izvođenja nastave upoznajemo učenike sa prirodnim pojavama i osnovnim prirodnim zakonima. Učenici postaju potkovani znanjem koje im omogućuje da uoče i raspoznaju fizičke pojave u svakodnevnom životu, da oforme osnovu naučnog metoda i da usmere stečeno znanje prema primeni fizičkih zakona u svakodnevnom životu i radu.

Zadaci nastave fizike su:

- stvaranje raznovrsnih mogućnosti da kroz različite sadržaje i oblike rada tokom nastave fizike svrha, ciljevi i zadaci obrazovanja, kao i ciljevi nastave fizike budu u punoj meri realizovani
- razvijanje funkcionalne pismenosti
- upoznavanje osnovnih načina mišljenja i rasuđivanja u fizici
- razumevanje pojava, procesa i odnosa u prirodi na osnovu fizičkih zakona
- razvijanje radoznalosti, sposobnosti racionalnog rasuđivanja, samostalnosti u mišljenju i veštine jasnog i preciznog istraživanja
- razvijanje sposobnosti za aktivno sticanje znanja o fizičkim pojavama kroz istraživanje
- razvijanje logičkog i apstraktnog mišljenja
- shvatanje smisla i metoda ostvarivanja eksperimenta i značaja merenja
- rešavanje jednostavnih problema i zadataka u okviru nastavnih sadržaja
- razvijanje sposobnosti za primenu znanja iz fizike
- shvatanje povezanosti fizičkih pojava i ekologije i razvijanje svesti o potrebi zaštite, obnove i unapređivanja životne sredine
- razvijanje radnih navika i sklonosti ka izučavanju nauka o prirodi
- razvijanje svesti o sopstvenim znanjima, sposobnostima i daljoj profesionalnoj orjentaciji.

2. Obrazovni standardi

Obrazovni standardi su iskazi o temeljnim znanjima, veštinama i umenjima koje učenici treba da steknu do određenog nivoa u obrazovanju. Standardi ističu najvažnije zahteve školskog učenja i nastave i iskazuju ih kao ishode vidljive u ponašanju i rasuđivanju učenika. Preko standarda se obrazovni ciljevi i zadaci prevode na mnogo konkretniji jezik koji opisuje postignuća učenika, stečena znanja, veštine i umenja. Osnovna karakteristika obrazovnih standarda je to što su definisani u terminima merljivog ponašanja učenika. Zasnovani su na empirijskim podacima, a stepen njihove ostvarenosti, može se iz godine u godinu proveravati. Na osnovu tih provera i pratećih analiza u intervalima od nekoliko godina standarde je potrebno unapređivati u skladu sa vremenom i društvom.

2.1 Karakteristike obrazovnih standarda

1. **Proverljivost specifikovanih obrazovnih ishoda**

   Obrazovni standardi se odnose na konkretna i merljiva znanja, umenja i veštine učenika karakteristična za dati predmet.

2. **Fokus na temeljnim znanjima**

   Obrazovni standardi konkretizuju temeljne ishode učenja, znanja iz neke oblasti. Ne pokušavaju da opišu sve detalje i svu raznolikost predmetnog sadržaja, već ono što je najbitnije.

3. **Kumulativnost**

   Obrazovni standardi uzimaju u obzir sva bitna znanja koje učenik stiče tokom školovanja. Najviši nivoi znanja podrazumevaju ovladanost sadržaja sa prethodnih nivoa.

4. **Diferencijacija**

   Obrazovni standardi prave razliku između različitih nivoa postignuća, prema stepenu ostvarivanja kompetencije koju opisuju.

5. **Razumljivost**

   Obrazovni standardi su formulisani jasno, koncizno i pomoću pojmova razumljivih za sve učenike.

6. **Izvodljivost**

   Zahtevi koji su definisani u okviru standarda predstavljaju izazov za učenike i nastavnike, a mogu biti ostvareni uz pravilno angažovanje.

7. **Obaveznost za sve**

   Obrazovni standardi se primenjuju na sve učenike.

2.2 Nivoi postignuća

Obrazovni standardi formulisani su sa tri nivoa postignuća. Ti nivoi opisuju zahteve različite težine i obima znanja od jednostavnijih ka složenim. Svaki naredni nivo podrazumeva da je učenik savladao znanja i veštine sa prethodnog nivoa.

Osnovni nivo

Na prvom nivou opisani su zahtevi koji predstavljaju osnovni nivo znanja, veština i umenja. Očekuje se da će najmanje 80% učenika postići taj nivo. Na osnovnom nivou nalaze se temeljna predmetna znanja i umenja. Umenja namenjena, kako za snalaženje u životu tako i za nastavak učenja. Znanja i umenja sa osnovnog nivoa najčešće su manje složena od onih sa srednjeg i naprednog nivoa. Ovde su smeštena i ona znanja i umenja koja nisu jednostavna, ali su temeljna da je potrebno uložiti poseban napor koji je potreban da bi njima ovladali gotovo svi učenici.

Srednji nivo

Na drugom nivou opisani su zahtevi koji predstavljaju srednji nivo znanja, veština i umenja. On opisuje ono što prosečan učenik može da dostigne. Očekuje se da će oko 50% učenika postići ili prevazići ovaj nivo.

Napredni nivo

Na trećem nivou opisani su zahtevi koji predstavljaju napredni nivo znanja, veština i umenja. Očekuje se da će oko 25% učenika postići taj nivo. Kompetencije sa naprednog nivoa su slozenije od onih sa osnovnog i srednjeg nivoa. Od učenika se očekuje da analizira, upoređuje, razlikuje, kritički sudi, iznosi lični stav, povezuje različita znanja, primenjuje ih i snalazi se i u novim i nestandardnim situacijama.

Svako merenje i vrednovanje učeničkih postignuća vrši uticaj na nastavu. Od suštinskog značaja je da se organizacija, realizacija, praćenje i vrednovanje nastave zasnivaju na istim, jasno formulisanim, usaglašenim i od učenika u obrazovanju prihvaćenim standardima. Primena obrazovnih standarda će omogućiti da obrazovni rad bude efikasniji i kvalitetniji, a vrednovanje rezultata objektivnije i pouzdanije.

2.3 Obrazovni standardi u nastavi fizike

Obrazovni stanadardi u nastavi fizike u srednjim školama definisani su za sledeće oblasti:

- MEHANIKA
- TOPLOTNA FIZIKA
- ELEKTROMAGNETIZAM
- OPTIKA
- **SAVREMENA FIZIKA**
- ASTRONOMIJA

Osnovni nivo

Učenik objašnjava pojave i procese na osnovu poznavanja fizičkih veličina i zakonitosti. Uspešno rešava jednostavne probleme i osnovne računske probleme uočavajući uzročno-posledične veze koristeći date podatke i merenja. Pokazuje spremnost da se angažuje i konstruktivno doprinosi rešavanju problema sa kojima se suočava zajednica kojoj pripada.

Srednji nivo

Učenik objašnjava i rešava složenije fizičke probleme, računske i eksperimentalne zadatke izdvajajući bitne podatke koji se odnose na dati problem, uspostavljajući veze među njima i koristeći odgovarajuće zakone i matematičke relacije. Uz pomoć uputstva, učenik može da priprema, izvodi i opisuje oglede, eksperimente i jednostavna naučna istraživanja.

Napredni nivo

Učenik poseduje naučna znanja iz fizike koja mu omogućavaju rešavanje složenih fizičkih problema i računskih zadataka, izvođenje eksperimenata i donošenje zaključaka na osnovu poznatih modela i teorija. Ima razvijene istraživačke sposobnosti i može da koristi naučnu argumentaciju i kritički analizira dobijene rezultate. Zna da se do rešenja problema može doći na više načina i bira najbolje u odnosu na zadate uslove.

Iz oblasti savremene fizike koja obuhvata i specijalnu teoriju relativnosti, sledeći iskazi opisuju šta učenik zna i ume na određenom nivou:

- **2.FI.1.5.1.** Navodi svojstva fotona i mikročestica.(OSNOVNI NIVO)

- **2.FI.2.5.1.** Zna osnove specijalne teorije relativnosti i pojmove kontrakcija dužine i dilatacija vremena. (SREDNJI NIVO)

- **2.FI.3.5.1**. Tumači relativistički karakter vremena, dužine i mase; razume vezu mase i energije. Zna sta objašnjava Opšta teorija relativnosti. (NAPREDNI NIVO)

3. Zadaci u nastavi fizike

U nastavi fizike, zadaci predstavljaju nezamenljiv deo nastavnog procesa, što će u okviru ovog rada i biti istaknuto. Nastava se ne može uspešno izvoditi, ako prethodno usvojena teorija ne dobije praktični smisao. Stečeno znanje koje obuhvata fizičke zakone, teorije i principe najbolje se primenjuje na konkretnom problemu prilikom rešavanja računskog problema. Svaki zadatak u fizici formulisan je tako da se odnosi na neku fizičku pojavu. Etapa rešavanja zadatka izvodi se pomoću niza matematičkih operacija i primene stečenog znanja vezanih za datu fizičku pojavu na koju se sam zadatak odnosi. Rešavajem zadataka kod učenika se podstiče misaona aktivnost, samostalan rad i kreativnost, razvija se logičko i stvaralačko mišljenje, raste motivacija učenika za predmet. Takođe, rešavanjem zadataka omogućujemo konkretizaciju i osmišljavanje teorijskih znanja, povezivanja znanja sa svakodnevnim životom, sticanje umenja i navika za praktičnu primenu gradiva.
Prilikom izučavanja nastavne teme, pridržavajući se obrazovnih standarda u nastavi fizike, zajedno sa demonstracionim i laboratorijskim vežbama planiraju se i kreiraju različiti tipovi i nivoi zadataka.

Zadaci u nastavi fizike omogućuju uspešno usvajanje znanja i lakše savladavanje gradiva.

3.1 Podela zadataka

Klasifikacija zadataka se može izvršiti prema:

- **Stepenu složenosti**, gde spadaju:
    - jednostavni
    - trening zadaci
    - najsloženiji zadaci

- **Sadržaju**
    - apstraktni
    - sa konkretnim sadržajem

- **Postavljenom cilju**

  - za vežbanje
  - utvrđivanje
  - razvoj kreativno-stavralačkog mišljenja

- **Načinu zadavanja uslova ili rešavanja**

  - tekstualni (kvantitativni)
  - grafički
  - zadatak postavljen pomoću slike ili šeme
  - eksperimentalni

Preciznu klasifikaciju je gotovo nemoguće izvršiti iz razloga što jedan zadatak može pripadati različitim vrstama u zavisnosti od podele.

S obzirom da je tema rada metodičko rešavanje računskih zadataka, najbolje bi bilo da se zadržimo na definisanju zadataka prema načinu rešavanja.

Kvalitativni zadaci

U ovu vrstu zadataka spadaju oni u kojima nisu navedeni podaci sa brojnim vrednostima. Do rešenja se ne dolazi primenom matematičkog aparata, već se rešenje daje u vidu obrazloženog odgovora. Rešavanje ovakvog tipa zadatka realizuje se kroz sledeće korake:

- ✓ upoznavanje sa uslovima zadatka
- ✓ analiza podataka i fizičkih pojava opisanih u zadatku
- ✓ pravljenje plana rešavanja
- ✓ ostvarivanje plana rešavanja
- ✓ provera odgovora

Grafički zadaci

Ovoj vrsti zadataka pripadaju zadaci u kojima se traži korišćenje ili izrada odgovarajućeg grafika. Grafik moze da bude deo rešenja ili sam uslov zadatka.

Rešavanje ovakvog tipa zadataka odvija se kroz sledeće etape:

- ✓ analiza uslova
- ✓ uspostavljanje veze između datih i traženih veličina
- ✓ diskusija rešenja

Kvantitativni (računski) zadaci

U ovu grupu zadataka spadaju oni zadaci do čijeg se rešenja može doći jedino primenom određenih formula, matematičkih operacija i numeričkog izražavanja. Odgovarajućom formulacijom postavljamo zadatak, iz zadatog teksta navodimo poznate vrednosti fizičkih veličina, proveravamo da li su sve merne jedinice usaglašene i preciznom analizom datog zadatka postavljamo koja se fizička veličina traži. Primenom stečenog znanja iz date oblasti koju obuhvata dati zadatak primenjujemo jednu ili više formula koje dovode do tražene veličine.

Ovakav tip zadataka je najčešći u nastavi. Prilikom planiranja i izrade ovakih zadataka treba biti usmeren na to da se polazi od lakših tipova ka težim tipovima zadataka kako bi obuhvatili sva tri nivoa znanja.

Proces vežbanja zadataka se može podeliti u sedam etapa:

1. ***čitanje zadataka i pregledno zapisivanje podataka***

   Ova etapa rešavanja računskog zadatka podrazumeva detaljno analiziranje teksta iz kog se izvalače potrebni podaci koji se čitko ispisuju jedan ispod drugog. Iz konteksta zadatka se izvlači koja se veličina/veličine traži i prelazi se na sledeću etapu.

2. ***izrada pomoćnog crteža***

   Često je radi lakšeg razumevanja potrebno i korisno skicirati datu situaciju opisanu u zadatku, ako slika nije već zadata uz zadatak. Precizan crtež pokazuje stepen razumevanja zadatka.

3. ***analiza uslova i traženje ideje za rešavanje***

   Iz ove etape sledi povezivanje uslova sa traženim veličinama. Traži se odgovarajuća formula koja će povezati traženu veličinu sa onim veličinama koje su nam date u zadatku.

4. ***dobijanje rešenja***

   Primenom matematičkih operacija preko poznatih veličina dobijamo traženu veličinu.

5. ***vršenje dimenzione provere***

   Sve zadate veličine moraju biti izražene u jedinicama SI Sistema, što znači da se prilikom postavke zadatka na ovo mora obratiti posebna pažnja pre prelaska na sledeću etapu rešavanja. Ako dimenzije nisu usaglašene pristupa se pretvaranju istih.

6. ***zamena brojnih vrednosti***

   Kada je izvedena formula za traženu fizičku veličinu, pristupamo zameni brojnih vrednosti. Tražena fizička veličina dobija konačan oblik u numeričkoj vrednosti. Ova etapa rešavanja je najpogodnija za proveru tačnosti zadatka .

7. ***diskusija rešenja***

   Poslednja etapa ima za cilj da proveri fizički smisao rezultata. Takođe se može diskutovati i o tome da li se do rešenja moglo doći i na drugi način.

Domaći zadaci

Obimnost gradiva kojima je obuhvaćen nastavni plan i program, često dovodi do toga da ono što se obrađuje i analizira na času nije dovoljno. Ovaj nedostatak se može ispraviti uvođenjem domaćih zadataka. Domaći zadaci predstavljaju samostalni oblik rada koji kod učenika doprinosi sticanju znanja i navika, podstiče njihov samostalni rad i razvoj svesti o obavezama i odgovornosti.

Uvode se kako bi se bolje savladalo gradivo i kako bi se učenici pripremili za naredni čas. Kako bi ovi zadaci imali efekta kod učenika i kako ne bi došlo do njihovog demoralisanja, od nastavnika se očekuje da vrednuje i ocenjuje ovakav način angažovanja učenika.

Složenost zadataka

Postoje dva tipa kriterijuma složenosti zadataka: subjektivni i objektivni.
Subjektivni kriterijum se oslanja na subjektivnu procenu učenika ili nastavnika. Zadatak se svrstava po težini u zavisnosti od toga da li učenik zna da ga uradi ili ne.
Objektivni kriterijum čine dve grupe: apsolutni i relativni kriterijum složenosti.

Apsolutni kriterijum složenosti pokazuje broj logičkih i matematičkih operacija koje treba primeniti u rešavanju zadataka. Primena malog broja logičkih i matematičkih operacija svrstava zadatak u lakši.

Relativni kriterijum složenosti pokazuje stepen povezanosti matematičkih i logičkih operacija. Kod lakših zadataka koriste se logičke i matematičke operacije koje većina učenika može da primeni.

Zadaci se prema složenosti rešavanja dele u tri nivoa:

- **PRVI NIVO**

  U ovaj nivo spadaju zadaci sa najmanjim stepenom složenosti. Za njihovo rešavanje je potrebna jedna logička i nekoliko prostih matematičkih operacija. Ovaj nivo zadataka može da savlada najveći broj učenika bez poteškoća.

- **DRUGI NIVO**

  Drugom nivou pripadaju nešto složeniji zadaci koji uključuju nekoliko logičkih i nešto težih matematičkih operacija. Učenici koji su bez problema rešavali zadatke prvog nivoa neće imati problema prilikom izrade zadataka sa ovog nivoa.

- **TREĆI NIVO**

  Ovom nivou pripadaju zadaci sa najvećim stepenom složenosti. Uključuju logičko mišljenje, niz kako jednostavnih tako i složenih matematičkih operacija, usvojeno znanje iz ove i prethodnih godina. Najmanji procenat učenika ima sposobnost rešavanja ovog tipa zadataka. Mali procenat je zbog težine samog zadatka, nerazumevanje gradiva ili nedovoljna aktivnost učenika.

4. Specijalna teorija relativnosti-teorijski deo

Specijalna teorija relativnosti (STR) je savremena fizička teorija prostora i vremena, čiji je osnivač Albert Ajnštajn. Zadatak ove teorije je razmatranje pojava u inercijalnim referentnim sistemima. Specifični relativistički efekti se ispoljavaju pri brzinama približnim brzini svetlosti u vakuumu. U slučaju brzina koje je su mnogo manje od brzine svetlosti, svi zakoni relativističke mehanike svode se na zakone klasične mehanike.

Brzina svetlosti u vakuumu je maksimalna brzina u prirodi i iznosi **c = 299 792 458 m/s** ili približno **$c = 3 \cdot 10^8$ m/s.**

U specijalnoj teoriji relativnosti prostor je homogen i izotropan i vreme je homogeno.

4.1 Postulati teorije relativnosti i relativistički efekti

Cela teorija STR je izgrađena na dva postulata.

Prvi postulat-*Ajnštajnov princip relativnosti*:

Svaka fizička pojava se, u istim uslovima, dešava na isti način u svim inercijalnim sistemima. Odnosno, svaki fizički zakon u svim inercijalnim referentnim sistemima izražava se jednačinama istog oblika.

Drugi postulat-*Princip invarijantnosti brzine svetlosti u vakuumu*:

Brzina svetlosti u vakuumu je ista u svim inercijalnim referentnim sistemima.

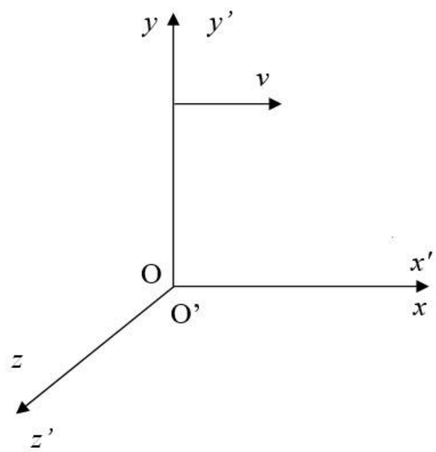
Invarijante su veličine čije vrednosti ne zavise od izbora referentnog sistema.

4.2 Lorencove transformacije koordinata

U STR događaj se opisuje sa četiri kooordinate: **tri prostorne (x, y, z)** koje definišu mesto gde se dešava događaj i **jednom vremenskom** koordinatom **(t)** koja definiše trenutak kada se događaj dešava.

Kada govorimo o transformaciji koordinata, tada dovodimo u vezu koordinate jednog događaja u dva referentna sistema. U STR se ove transformacije nazivaju ***Lorencove transformacije***. Izvedene su na osnovu homogenosti vremena, homogenosti i izotropnosti prostora i postulata STR.

Da bi se pokazala transformacija koordinata, posmatraćemo dva inercijalna referentna sistema. Sistem S koji miruje i sistem S′ koji se kreće ravnomernom brzinom ***u*** duž x-ose sistema S. U oba referentna sistema za početni trenutak je izabran trenutak kada se poklapaju njihovi koordinatni počeci (Slika 1).



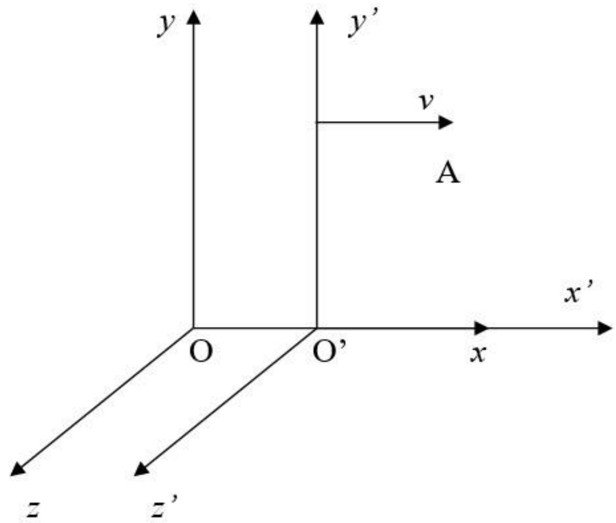
Slika 1. Koordinatni sistemi u početnom trenutku

U trenutku poklapanja referentnih sistema, događaj ima koordinate:

x=y=z=0; **t=0** u sistemu S;

x′=y′=z′=0; **t′=0** u sistemu S′.

Ako sa A obeležimo prizvoljan događaj (Slika 2), u sistemu S on će biti definisan preko koordinata **A(x,y,z,t)**, a u sistemu S′ je **A (x′,y′,z′,t′)**.



Slika 2. Koordinatni sistemi u proizvoljnom trenutku

Lorencove transformacije koordinata u sistemu S su:

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; y = y'; z = z'; t = \frac{t' + \frac{ux'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Na osnovu koordinata iz sistema S′, ako su poznate, možemo odrediti koordinate u sistemu S. Na osnovu principa relativnosti transformacije imaju imaju isti oblik i u inverznom slučaju kada se brzina u figurise kao ***–u***.

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; y' = y; z' = z; t' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Radi jednostavnijeg zapisa, uvodimo γ faktor $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \boldsymbol{\gamma}$**,** na osnovu čega Lorencove transformacije imaju konačan oblik kao:

$$x = \gamma(x' + ut'), y = y', z = z', t = \gamma\left(t' + \frac{ux'}{c^2}\right)$$

$$x' = \gamma(x - ut), y' = y, z' = z, t' = \gamma\left(t - \frac{ux}{c^2}\right)$$

Ni vreme ni koordinata ne mogu biti imaginarni, pa iz Lorencovih transformacija sledi da se nijedan referentni sistem ne može kretati brzinom većom od brzine svetlosti, odnosno iz postulata STR sledi da nijedan inercijalni sistem ne može da se kreće brzinom svetlosti.

Posebna ograničenja se uvode ukoliko se sistemi kreću malim brzinama $u \ll c$. Tada se Lorencove transformacije svode na Galilejeve, koje važe u klasičnoj mehanici.

$$x = x' + ut', y = y', z = z', t = t'$$

4.3 Slaganje brzina

Zakon slaganja brzina izvodi se na osnovu Lorencovih transformacija. Ako čestica ima brzinu $\vec{v'}$ u odnosu na referentni sistem S′, za beskonačno malo vreme $\Delta t'$ ona napravi pomeraj $\overrightarrow{\Delta r'}$, odnosno komponente brzine $\vec{v'}$ duž koordinata su:

$$v_x' = \frac{\Delta x'}{\Delta t'}, v_y' = \frac{\Delta y'}{\Delta t'}, v_z' = \frac{\Delta z'}{\Delta t'}, \text{ za referentni sistem S}'$$

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}, v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t}, v_z = \frac{\Delta z}{\Delta t}, \text{ za referentni sistem S.}$$

Konačan izraz za brzine preko komponenata pomeraja i komponente vremena, dobija se izvođenjem:

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\gamma(\Delta x' + u\Delta t')}{\gamma(\Delta t' + \frac{u\Delta x'}{c^2})} = \frac{\frac{\Delta x'}{\Delta t'} + u}{1 + \frac{u}{c^2}\frac{\Delta x'}{\Delta t'}}; \boxed{\boldsymbol{v_x = \frac{v_x' + u}{1 + \frac{u}{c^2} v_x'}}}$$

$$v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{\Delta y'}{\gamma(\Delta t' + \frac{u\Delta x'}{c^2})} = \frac{\frac{\Delta x'}{\Delta t'}}{\gamma(1 + \frac{u}{c^2}\frac{\Delta x'}{\Delta t'})}; \boxed{\boldsymbol{v_y = \frac{v_y'}{\gamma(1 + \frac{u}{c^2} v_x')}}}$$

Na isti način se dobija i z komponenta brzine:

$$\boldsymbol{v_z = \frac{v_z'}{\gamma(1 + \frac{u}{c^2} v_x')}}$$

U inverznom slučaju, formule se dobijaju na identičan način, s tim što umesto brzine u, uzimamo $-u$:

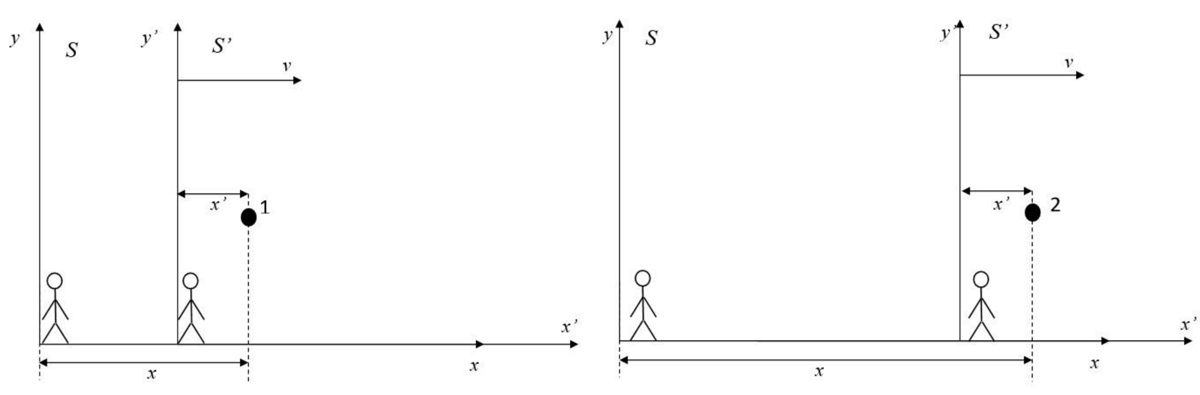
$$\boldsymbol{v_x' = \frac{v_x - u}{1 - \frac{u}{c^2} v_x}, \qquad v_y' = \frac{v_y}{\gamma(1 - \frac{u}{c^2} v_x)}, \quad v_z' = \frac{v_z}{\gamma(1 - \frac{u}{c^2} v_x)}}$$

Specijalan slučaj, kada je $u \ll c$ zakon slaganja brzina se svodi na sledeći oblik:

$$v_x = v_x' + u, \qquad v_y = v_y', \quad v_z = v_z'$$

4.4 Produženje (dilatacija) vremena

Posmatramo referentni sistem S′. U njemu se dešavaju dva događaja 1 i 2. Događaj 1 određen je koordinatama A(x_1', y_1', z_1', t_1'), a događaj 2, B(x_2', y_2', z_2', t_2'). Ukoliko se ovi događaji dese istovremeno $x_1' = x_2'$ (Slika 3).



Slika 3. Koordinate događaja 1 i 2 u sistemu S i S′

Vremenski interval između tih događaja u tom sistemu je:

$$\tau_0 = t_2' - t_1'$$

U referentom sistemu S između događaja 1 i 2 protekne vreme:

$$\tau = t_2 - t_1 = \gamma \left(t_2' + \frac{u x_2'}{c^2} \right) - \gamma \left(t_1' + \frac{u x_1'}{c^2} \right)$$

$$x_1' = x_2'$$

$$\tau = \gamma (t_2' + \frac{u x_2'}{c^2} - t_1' - \frac{u x_1'}{c^2})$$

$$\tau = \gamma (t_2' - t_1')$$

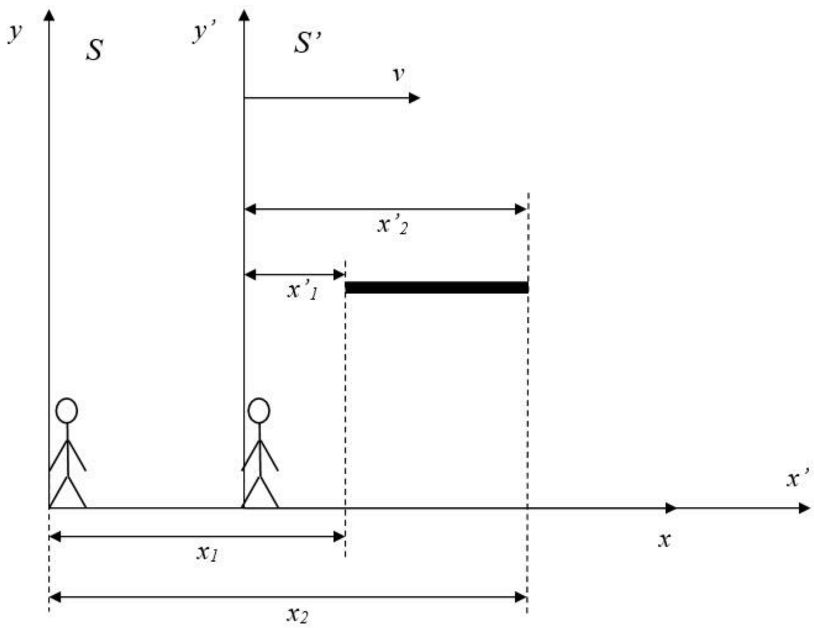
$$\boxed{\boldsymbol{\tau = \gamma \tau_0}}$$

Poznato je da je $\gamma > 0$, što rezultira $\tau > \tau_0$. Tačnije, vreme između dva događaja najmanje je u onom referentnom sistemu u kojem se ti događaji dešavaju na istom mestu. Časovnik koji bi se nalazio na tom mestu pokazivao bi vreme koje se naziva ***sopstveno vreme $\boldsymbol{\tau_0}$***.

Sopstveno vreme je vreme između dva događaja u onom referentnom sistemu u kojem se oni dešavaju na istom mestu.

4.5 Skraćenje (kontrakcija) dužine

U STR pored relativnosti vremena, javlja se i relativnost rastojanja između dve tačke. Iz Lorencovih transformacija sledi da se skraćuje dimezija tela u pravcu kretanja (Slika 4).



Slika 4. Koordinate tela u sistemu S i S′

U odnosu na nepokretnog posmatrača, štap se kreće u pravcu svoje dužine stalnom brzinom v. Pravac vezujemo za x-osu nepokretnog referentnog sistema S, a inercijalni sistem S′ vezujemo za štap.

U odnosu na posmatrača u sistemu S′ dužina štapa je jednaka razlici koordinata njegovih krajeva:

$$l_0 = x_2' - x_1'$$

l_0-sopstvena dužina štapa

Sopstvena dužina tela je dužina u onom referentnom sistemu u kojem to telo miruje.

Dužina za posmatrača u sistemu S se meri kao razlika koordinata krajeva štapa uz uslov da se obe koordinate mere u istom trenutku.

$$l = x_2 - x_1, \text{ kada je } t_1 = t_2$$

Koristeći Lorencove transformacije uspostavljamo vezu između dužina l i l_0.

$$l_0 = x_2' - x_1' = \gamma(x_2 - vt_2) - \gamma(x_1 - vt_1)$$

$$t_1 = t_2$$

$$l_0 = \gamma(x_2 - vt_2 - x_1 + vt_1)$$

$$l_0 = \gamma(x_2 - x_1)$$

$$l_0 = \gamma\, l$$

$$\boxed{\boldsymbol{l = \frac{l_0}{\gamma}}}$$

Poslednja formula pokazuje da je dužina tela pri kretanju manja od sopstvene dužine. Ovaj efekat nazivamo ***kontrakcija ili skraćenje dužine l***.

Ako telo ima proizvoljan oblik, skraćuje se samo dimenzija koja je u pravcu kretanja, iz čega možemo da zaključimo da je i sam oblik tela relativan.

4.6 Relativistička dinamika

- **Impuls čestice**

Čestica (telo) mase m, koja se kreće brzinom v, ima impuls

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \text{ odnosno } \quad \vec{p} = \gamma\, m\vec{v}$$

U slučaju da je $v \ll c$, formula za impuls dobija oblik identičan onom u klasičnoj mehanici:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Osnovni zakon dinamike formulisan je kao i u klasičnoj fizici.

Brzina promene impulsa čestice jednaka je rezultujućoj sili koja deluje na česticu.

$$\vec{F} = \frac{\overrightarrow{\Delta p}}{\Delta t};\ \Delta t \to 0$$

$\vec{F}$-sila koja deluje na česticu.

Rad sile se definiše kao skalarni proizvod sile koja deluje na česticu pri beskonačno malom pomeraju čestice $\overrightarrow{\Delta r}$.

$$\Delta A = \vec{F} \cdot \overrightarrow{\Delta r}$$

- **Energija čestice (tela)**

Čestica mase m, koja se kreće brzinom v, ima energiju

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \text{ odnosno } E = \gamma\, mc^2$$

***E*-ukupna energija**

Ako čestica miruje, njena energije je :

$$E_0 = \ mc^2$$

E_0-energija mirovanja

Energija mirovanja, odnosno masa, ista je u svim referentnim sistemima i predstavlja jednu od fundamentalnih karakteristika čestice.

Kinetička energija $\boldsymbol{E_k}$ čestice jednaka je razlici ukupne energije i energije mirovanja.

$$E_k = E - E_0, \text{ odnosno } E_k = mc^2(\gamma - 1)$$

Kinetička energija čestice se još može definisati kao rad potreban za ubrzavanje čestice iz mirovanja do date brzine.

$$A = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1\right)$$

U slučaju da je $v \ll c$, formula za kinetičku energiju svodi se na oblik koji ima u klasičnoj fizici.

- **Veza između ukupne energije i impulsa čestice**

Energija može da se još zapiše u obliku:

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E^2 - {E_0}^2 = {E_0}^2\left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - 1\right) = m^2c^4\frac{\frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m^2v^2c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\boxed{\boldsymbol{E^2 - {E_0}^2 = p^2c^2}}$$

- **Veza između impulsa i kinetičke energije**

$$E = E_0 + E_k$$

$$(E_0 + E_k)^{\mathbf{2}} - {E_0}^{\mathbf{2}} = p^2c^2$$

$$2E_0E_k + {E_k}^2 = p^2c^2$$

$$\boxed{\boldsymbol{p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}}}$$

Veze između ovih fizičkih veličina je najbolje izvesti na času kako bi se na lakši način mogli rešavati računski problemi. Često se dešava da upravo ove matematičke operacije utiču na to da učenici ne vide način rešavanja zadatog računskog problema.

5. Specijalna teorija relativnosti-primeri računskih zadataka

Kako bi stečeno znanje dobilo praktičan smisao, od učenika se očekuje da su usvojili osnovne pojmove i zakone iz ove oblasti pridrzavajući se pri tom obrazovnih standarda.

Obrazovni standardi su iskazi o temeljnim znanjima koji opisuju šta se od učenika očekuje na određenom nivou da zna.

Od učenika se očekuje da zna osnove specijalne teorije relativosti i pojmove kontrakcija dužine i dilatacija vremena. (**FI.2.5.1.)**

Učenik ima znanja da tumači relativistički karakter vremena, dužine i mase; razume vezu mase i energije. Zna šta objašnjava Opšta teorija relativnosti. (**FI.3.5.1**.)

5.1 Zadaci prvog nivoa

U zadatke prvog nivoa spadaju jednostavni zadaci. Jednostavni zadaci su oni kod kojih se do traženog rešenja dolazi uvrštavanjem brojnih vrednosti u poznati obrazac, formulu, koji povezuju date i tražene fizičke veličine

1. Sistem S′ kreće se duž x-ose brzinom 0,8c u odnosu na sistem S. Naći koordinate događaja u sistemu S′ ako je u sistemu S taj događaj određen koordinatama $x = 3 \cdot 10^8\mathrm{m}, y = 0, z = 0, t = 1s.$

   Rešenje:

   $x = 3 \cdot 10^8\mathrm{m}$
   $y = 0$
   $z = 0$
   $t = 1s$
   $u = 0{,}8c$
   $c = 3 \cdot 10^8\mathrm{m/s}$
   $x' =?$
   $y' =?$
   $z' =?$
   $t' =?$

Ovaj zadatak je formulisan tako da se od učenika očekuje da primene stečeno znanje iz teorije na zadati problem. Svrstan je u zadatke prvog nivoa jer ne zahteva kombinovanje više formula, već samo zamenjivanje poznatih veličina u konačnu formulu.

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = 1 \cdot 10^8 \mathrm{m}$$

$$y' = y = 0$$

$$z' = z = 0$$

$$t' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = 0{,}33 \mathrm{s}$$

Koordinate događaja u S' sistemu su $x' = 1 \cdot 10^8 \mathrm{m}$, $y' = z' = 0$, $t' = 0{,}33 \mathrm{s}$

2. Sopstvena dužina štapa je 1m. Kolika je dužina štapa u sistemu u kojem se on kreće brzinom 0,6c u pravcu svoje dužine?

   Rešenje:

   $l_0 = 1 \mathrm{m}$
   $v = 0{,}6c$
   $l = ?$
   $c = 3 \cdot 10^8 \mathrm{m/s}$

Kao i prethodni zadatak i ovaj spada u zadatke prvog nivoa, jer je za rešavanje potrebna samo formula za kontrakciju dužine i matematičke veštine.

$$l = \frac{l_0}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Zamenom brojnih vrednosti u gornje dve formule dobija se izraz za konačnu dužinu štapa.

$$l = 80 \mathrm{cm}$$

*Dužina štapa u sistemu u kom se on kreće u pravcu svoje dužine iznosi 80*cm.

3. Kolikom brzinom treba da se kreće čestica u odnosu na Zemlju da bi njeno sopstveno vreme života bilo 10 puta manje od vremena izmerenog časovnikom na Zemlji?

   Rešenje:

   $\tau_0 = \frac{\tau}{10}$

   $v = ?$

$c = 3 \cdot 10^8 \mathrm{m/s}$

$\tau = \gamma\tau_0$

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\frac{\tau}{10}$$

$$10\tau\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \tau$$

Skraćivanjem τ i kvadriranjem leve i desne strane dobija se:

$$1-\frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{100}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

$$v^2 = 0{,}99c^2$$

$$v = 0{,}995c$$

Čestica treba da se kreće brzinom 0,995c u odnosu na Zemlju.

Ovaj zadatak se razlikovao u odnosu na prethodne zbog kombinovanja više matematičkih operacija, ali je svrstan u prvi nivo jer zahteva samo poznavanje formule za dilataciju vremena.

4. Izračunati impuls i energiju elektrona koji se kreće brzinom 0,6c.

Rešenje:

$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$
$v = 0{,}6c$
$p = ?$
$E = ?$
$c = 3 \cdot 10^{8}\text{m/s}$

---

m_e-masa elektrona koja je ista u svim referentnim sistemima.

$$p = \frac{m_e v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2{,}05 \cdot 10^{-22}\text{kgm/s}$$

$$E = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 81{,}9 \cdot 10^{-15}\text{J} = 51{,}1 \cdot 10^{4}\text{eV}$$

Uobičajeno je da se energije čestica izražavaju u elektron-voltima (eV):

$\mathbf{1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}J}$

Impuls čestice iznosi $2{,}05 \cdot 10^{-22}\text{kgm/s}$, *a energija* $51{,}1 \cdot 10^{4}\text{eV}$.

Za rešavanje ovog zadatka potrebno je osnovno znanje iz relativističke dinamike koje uključuje poznavanje formula za impuls i energiju.

5.2 Zadaci drugog nivoa

U zadatke drugog nivoa spadaju nešto složeniji zadaci, tačnije zadaci do čijeg rešenja se ne može doći neposrednim uvrštavanjem brojnih vrednosti, već se do rešenja dolazi nakon misaonih procesa koji podrazumevaju dobro poznavanje fizičkih pojava uz korišćenje složenijeg matematičkog aparata.

5. Dve čestice se kreću duž istog pravca jedna prema drugoj, brzinama $2 \cdot 10^{5}$ km/s. Za koliko se razlikuju relativne brzine čestica računate prema klasičnom i relativističkom zakonu sabiranja brzina?

Rešenje:

$v_1 = v_2 = 2 \cdot 10^5 \, \frac{\text{km}}{\text{s}}$
$v - v' = ?$
$c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$

Prema klasičnom zakonu sabiranja brzina kada se dva tela kreću jedan drugom u susret brzina *v* se dobija po obrascu:

$$v = v_1 + v_2$$

Relativističko slaganje brzina ima nešto drugačiju formu jer se uzima u obzir da se tela kreću relativističkim brzinama tj. brzinama pribliznim brzini svetlosti.

$$v' = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

$$v - v' = v_1 + v_2 - \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

$$v - v' = (v_1 + v_2)(1 - \frac{1}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}})$$

$$v - v' = (v_1 + v_2)\left(\frac{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2} - 1}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}\right)$$

$$v - v' = (v_1 + v_2)\left(\frac{\frac{v_1 v_2}{c^2}}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}\right)$$

$$v - v' = (v_1 + v_2)\left(\frac{\frac{v_1 v_2}{c^2}}{\frac{c^2 + v_1 v_2}{c^2}}\right)$$

$$v - v' = (v_1 + v_2)\left(\frac{v_1 v_2}{c^2 + v_1 v_2}\right)$$

$$v - v' = 1{,}23 \cdot 10^8 \text{m/s}$$

Razlika brzina, dva tela koja se kreću jedan drugom u suret, računata prema klasičnom i relativističkom zakonu iznosi $1{,}23 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

Ovaj zadatak spada u zadatke drugog nivoa iz razloga što se od učenika očekuje poznavanje gradiva iz prethodnih godina. Uključuje kombinovanje više formula i matematičkih operacija. Za njegovo rešavanje neophodno je prisetiti se klasičnog zakona sabiranja i povezati i uočiti razliku u odnosu na relativističko slaganje brzina.

6. Naći brzinu i komponente brzine čestice u sistemu S′ ako su komponente njene brzine u sistemu S: $v_x = 0{,}1c, v_y = 0{,}2c, v_z = 0{,}3c$. Sistem S′ kreće se brzinom 0,2c u odnosu na sistem S.

   Rešenje:

$v_x = 0{,}1c$

$v_y = 0{,}2c$

$v_z = 0{,}3c$

$u = 0{,}2c$

$v_x' = ?$

$v_y' = ?$

$v_z' = ?$

$v' = ?$

Za rešavanje ovog zadatka koriste se formule za komponente brine u S′ sistemu:

$$\boxed{v_x' = \frac{v_x - u}{1 - \frac{u}{c^2} v_x}, \qquad v_y' = \frac{v_y}{\gamma(1 - \frac{u}{c^2} v_x)}, \quad v_z' = \frac{v_z}{\gamma(1 - \frac{u}{c^2} v_x)}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Zamenom brojnih vrednosti u gornje formule, dobija se:

$v_x' = -0{,}102c$

Negativan predznak označava da je ova brzina suprotno usmerena od x-ose.

$v_y' = 0{,}19996c$

$v_z' = 0{,}29994c$

$$v' = \sqrt{v_x'^2 + v_y'^2 + v_z'^2} = 0{,}375c$$

Nalaženje komponenata brzina čini ovaj zadatak jednostavnim i da nema traženja brzine v', spadao bi u zadatke prvog nivoa, međutim zbog traženja konačne brzine ovaj zadatak povlači za sobom i neke matematičke formule koje su se izučavale tokom ranijih godina.

7. U sopstvenom referentnom sistemu figura ima oblik pravougaonika dimenzija 10cm x 15cm. Kolikom brzinom i u kom pravcu treba da se kreće ta figura da bi je posmatrač video kao kvadrat?

<u>*Rešenje:*</u>

$l = 10\text{cm}$
$l_0 = 15\text{cm}$
$v = ?$

$$l = \frac{l_0}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$10\text{cm} = 15\text{cm}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{10\text{cm}}{15\text{cm}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Kvadriranjem leve i desne strane dobija se:

$$\frac{100}{225} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$
$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{100}{225}$$
$$v^2 = 0{,}44c^2$$

$v = 0,66c$

Figura treba da se kreće u pravcu svoje duže stranice brzinom 0,66c, kako bi je posmatrač video kao kvadrat.

Rešavanje ovog zadataka podrazumeva poznavanje termina kontrakcija dužine. Potrebno je iz zadatka odrediti šta treba da bude sopstvena dužina kao i pravac kretanja figure kako bi je posmatrač video u drugačijem obliku.

8. U odnosu na Zemlju, čestica od svog nastanka do raspada preleti 75m brzinom 0,995c. Koliko je vreme života te čestice u odnosu na Zemlju? Koliko je sopstveno vreme života čestice?

   Rešenje:

   $s = 75\text{m}$
   $v = 0,995c$
   $\tau = ?$
   $\tau_0 = ?$
   $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$

U odnosu na Zemlju dužina života čestice se može izračunati kao odnos pređenog puta i vremena:

$$\tau = \frac{s}{v} = \frac{75m}{0,995 \cdot 3 \cdot 10^8 m/s} = 25,1 \cdot 10^{-8}\text{s}$$

Korišćenjem obrasca za dilataciju vremena određuje se sopstveno vreme života čestice.

$$\tau = \tau_0 \gamma$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\tau_0 = \tau \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\tau_0 = 2,5 \cdot 10^{-8}\text{s}$$

Sopstveno vreme života čestice iznosi $2{,}5 \cdot 10^{-8}\mathrm{s}$*, a dužina života u odnosu na Zemlju* $25{,}1 \cdot 10^{-8}\mathrm{s}$.

9. Naći impuls čestice čija je energija mirovanja 0,5MeV, a kinetička energija 1 MeV.

   Rešenje:

   $E_0 = 0{,}5\mathrm{MeV}$
   $E_k = 1\mathrm{MeV}$
   $p = ?$
   $1\mathrm{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\mathrm{J}$
   $c = 3 \cdot 10^8 \mathrm{m/s}$

Iz navedenih podataka zaključuje se da je $E_k = 2E_0$. Ovaj podatak omogućuje da se na brži i lakši način dođe do impulsa koristeći relaciju koja ga povezuje sa energijom.

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}$$
$$p = \frac{1}{c}\sqrt{2E_0(2E_0 + 2E_0)}$$
$$p = \frac{1}{c}\sqrt{4{E_0}^2 + 4{E_0}^2} = \frac{1}{c}\sqrt{8{E_0}^2} = \frac{2E_0\sqrt{2}}{c}$$

$$p = 4{,}7 \cdot 10^{-22}\mathrm{kgm/s}$$

Impuls čestice iznosi $4{,}7 \cdot 10^{-22}\mathrm{kgm/s}$.

5.3 Zadaci trećeg nivoa

U najsloženiju kategoriju spadaju zadaci trećeg nivoa. Zadaci ovog nivoa podrazumevaju kombinovanje zadataka sa prethodnih nivoa za čije rešavanje je neophodno dobro poznavanje gradiva kako iz ove, tako i iz prethodnih godina.

Znacaj rešavanja ovakvog tipa zadataka ogleda se u podsticanju učenika na kreativno mišljenje.

10. Proton se ubrzava iz mirovanja tako da mu se energija udvostruči. Naći kinetičku energiju i impuls ubrzanog protona ako je njegova masa $1{,}67 \cdot 10^{-27}$kg.

Rešenje:

$m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\text{kg}$

Masa protona je ista u svim referentnim sistemima.

$E = 2E_0$
$E_k = ?$
$p = ?$
$1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{J}$
$c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$

$$E_0 = m_p c^2 = 939\text{MeV}$$

$$E_k = E - E_0 = 2E_0 - E_0 = E_0 = 939\text{MeV}$$

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)} = 8{,}67 \cdot 10^{-19}\text{kgm/s}$$

Kinetička energija ubrzanog protona iznosi 939 MeV, *a impuls* $8{,}67 \cdot 10^{-19}\text{kgm/s}$.

Sama postavka zadatka je kompleksna što ovaj zadatak svrstava u zadatke naprednog nivoa.

11. Kolikim naponom treba da se ubrza elektron iz mirovanja, da bi njegova kinetička energija bila 10 puta veća od energije mirovanja?

Rešenje:

$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{C}$
$E_k = 10E_0$
$U = ?$

Kada naelektrisana čestica pređe potencijalnu razliku, električno polje na njoj izvrši rad:

$$A = eU$$

Izvršen rad je jednak promeni kinetičke energije:

$$A = \Delta E_k$$

Početna kinetička energija je jednaka nuli iz čega sledi da je:

$$E_k = eU$$
$$E_k = 10E_0 = 10m_e c^2$$
$$eU = 10m_e c^2$$
$$U = \frac{10m_e c^2}{e}$$
$$U = 5{,}1\text{MV}$$

*Elektron treba da se ubrza naponom od 5,1*MV.

Rešavanje ovog zadatka je dosta kompleksno jer zahteva od učenika povezivanje i dobro poznavanje već stečene materije iz oblasti elektromagnetizma kao i novog gradiva.

12. Sa Zemlje se u trenutku t_1=1s emituje kratkotrajni laserski impuls ka Mesecu. U trenutku t_2=2,2s impuls stigne do prijemnika na Mesecu. Dati vremenski trenuci odnose se na referentni sistem vezan za Zemlju. Koliko vremena putuje impuls od Zemlje do Meseca za posmatrača u raketi koja se kreće brzinom 0,6c u pravcu i smeru kretanja impulsa?

    Rešenje:

    $$t_1 = 1\text{s}$$
    $$t_2 = 2{,}2\text{s}$$
    $$t_2' - t_1' = ?$$
    $$u = 0{,}6c$$
    $$c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$$

Posmatrajući referentni sistem vezan za Zemlju, emitovanje svetlosnog impulsa dešava se na mestu $x_1 = 0$ u trenutku t_1. Dolazak svetlosnog impulsa na Mesec dešava se na mestu x_2 u trenutku t_2. Između ta dva događaja u raketi, sa stanovišta posmatrača, protekne vreme:

$$t_2' - t_1' = \gamma\left(t_2 - \frac{u}{c^2}x_2\right) - \gamma\left(t_1 - \frac{u}{c^2}x_1\right) = \gamma(t_2 - t_1) - \gamma\frac{u}{c^2}(x_2 - x_1)$$

Rastojanje $x_2 - x_1$predstavlja put koji svetlost pređe brzinom c za vreme $t_2 - t_1$,

$$x_2 - x_1 = c(t_2 - t_1)$$

$$t_2' - t_1' = \gamma(t_2 - t_1) - \gamma\frac{u}{c^2}c(t_2 - t_1)$$

$$t_2' - t_1' = \gamma(t_2 - t_1)\left(1 - \frac{u}{c}\right)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}$$

$$t_2' - t_1' = 0{,}6\text{s}$$

Impuls od Zemlje do Meseca putuje, za posmatrača u raketi koja se kreće u pravcu i smeru impulsa, za 0,6s.

Složenost ovog zadatka je očigledna. Za njegovo rešavanje je potrebno dobro poznavanje materije kao i logičko mišljenje. Ovaj zadatak se često obrađuje i analizira na dodatnoj nastavi što ga automatski svrtava u napredne zadatke.

Zadatak za dodatnu nastavu

PARADOKS BLIZANACA

Zadatak

Braća blizanci se za trideseti rođendan dogovore da jedan od njih otputuje brodom do nama najbliže zvezde Proksime Kentaura, koja je od naše planete udaljenja oko 4,3 svetlosne godine. Brzina broda iznosi približno 260000 km/s ili 13/15c. Koliko godina će pri povratku broda na Zemlju imati brat koji je ostao na Zemlji, a koliko brat koji je putovao u svemir?

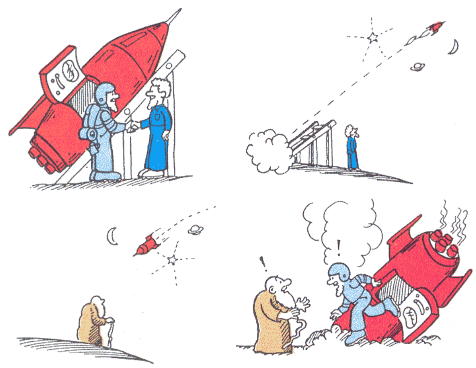
Važna napomena prilikom rešavanja zadatka. Za brzinu svetlosti uzimati da je c = 300000 km/s. Pretpostaviti da se brod i pri odlasku i pri povratku kreće ravnomerno. Zanemariti vreme potrebno za ubrzavanje i usporavanje broda.

Rešenje:

$$v = 260000\frac{\text{km}}{\text{s}} \approx \frac{13}{15}c$$

$t = 4{,}3 godine$
$\Delta t_b = ?$
$\Delta t_z = ?$

Δt_z −vreme potrebno da se brod vrati na Zemlju tj. vreme koje blizanac na Zemlji treba da sačeka da bi se brod vratio.
Δt_b −vreme koje teče u blizancu brodu.



Iz obrnute proporcije:

$$\Delta t : 4{,}3 god = 300000\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}} : 260000\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$$

Dobija se da je vreme potrebno brodu da stigne do nama najbliže zvezde:

$$\Delta t = 4{,}96 god \approx 5 god$$

Što znači da je vreme potrebno da se brod vrati na Zemlju, za posmatrača na Zemlji:

$$\Delta t_z \approx 10 god$$

Blizancu iz broda vreme računamo iz Ajnštajnovog obrasca:

$$\Delta t_b = \Delta t_z \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \approx 5 god$$

Zaključak:

Brat koji je ostao na Zemlji ima oko 40 godina, dok brat koji je putovao u svemir ima oko 35 godina.

Paradoks blizanaca je zapravo eksperiment o Ajnštajnovoj teoriji relativiteta. Pošto se brat blizanac u svemiru kreće brzinom približnom brzini svetlosti, njegov sat otkucava 86% sporije u odnosu na zemaljski. To znači da blizanac koji putuje stari dosta sporije.

Ako se u diskusiju uključi činjenica da je kretanje relativno, ispravno je reći da je blizanac koji je putovao po svemiru u stvari mirovao, a da se drugi blizanac zajedno sa planetom Zemljom kretao velikom brzinom u odnosu na njega. Zbog ovog bi blizanac koji je sve vreme boravio na Zemlji trebalo da na završetku putovanja bude mlađi od svog brata, što je u kotradikciji sa navedenim zaključkom. Ovo je ujedno i suština relativističkog paradoksa.

(Jedan od nekoliko zaključaka dobijenih na dodatnoj nastavi od strane učenika)

Ovaj zadatak ostavlja dosta prostora za diskusiju o ispravnosti ove teorije, što dodatno motiviše učenike za rad. Svako ispoljavanje slobodnog mišljena utiče pozitivno na nastavu, a samim tim učenicima se razvija kreativno mišljenje. Po težini spada u napredne zadatke i zahteva dosta vremena za analiziranje i diskusiju zbog čega se izvodi na dodatnoj nastavi sa učenicima koji su uspešno savladali gradivo iz ove oblasti.

Primer kontrolnog zadatka i analiza uspeha

Nakon obrađene nastavne teme STR sledi pismena provera u vidu kontrolnog zadatka. Kontrolni zadatak se sastoji od pet računskih zadataka različite težine, prilagođenih svim učenicima.
Ovakav tip provere treba da sadrži pitanja i zadatke koji su slični i po formi i po sadržaju onima sa redovne nastave, tokom školske godine. Tokom obrade gradiva učenicima treba davati primere različitih tipova pitanja i zadataka. Na taj način učenici uspešno savladavaju određene sadržaje.
Sastavljanje kontrolnih zadataka je složen proces koji zahteva vreme, znanje i analitičko mišljenje.

Primer kontrolnog zadatka

1. U sistemu S′ događaj je određen koordinatama: $x'=6\cdot10^3$m, $y'=2\cdot10^2$m, $z'=15$m, $t'=2\cdot10^{-5}$s. Odrediti koordinate tog događaja u sistemu S ako se S′ kreće u odnosu na S brzinom 0,8c duž x-ose.

2. Telo dužine 100m kreće se prema posmatraču određenom brzinom. Kolika je brzina kretanja ako je kontrakcija dužine 1mm?

3. U odnosu na neku nepokretnu zvezdu, raketa se kreće pravolinijskom brzinom $\frac{24}{25}c$. Između neka dva događaja u raketi izmereno je vreme 7s. Koliko vremena prođe između ta dva događaja i koliki put preleti raketa za to vreme u referentnom sistemu vezanom za zvezdu?

4. a) Kolikom brzinom treba da se kreće čestica da bi njena kinetička energija bila jednaka energiji mirovanja?
   b) Naći brzinu i impuls čestice mase m čija je kinetička energija pet puta veća od energije mirovanja.

5. Proton i α-čestica počinju kretanje iz mirovanja i prelaze u električnom polju isti napon U. Nakon toga je ukupna energija α-čestica tri puta veća od ukupne energije protona. Naći U znajući da je masa α-čestice četiri puta veća od mase protona, dok je naelektrisanje α-čestice dva puta veće od nalektrisanja protona. Energija mirovanja protona je 938 MeV, a njegovo naelektrisanje iznosi $1{,}6\cdot10^{-19}$C.

Rešenja zadataka sa kontrolnog

1. Prvi zadatak sa kontrolnog, po težini spada u zadatke prvog nivoa. Od učenika se očekuje da su uvojili kako se transformišu koordinate jednog sistema u odnosu na drugi. Najveći broj učenika bi trebalo da reše ovaj zadatak.

Rešenje :

$x' = 6 \cdot 10^3\text{m}$

$y' = c$

$z' = 15\text{m}$

$t' = 2 \cdot 10^{-5}\text{s}$

$v = 0{,}8c$

$x = ?$

$y = ?$

$z = ?$

$t = ?$

Lorencove transformacije koordinata u sistemu S su:

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; y = y'; z = z'; t = \frac{t' + \frac{ux'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Nakon zamene brojnih vrednosti dobijaju se vrednosti za koordinate sistema S:

$$x = 18 \cdot 10^3\text{m}, \text{y} = 2 \cdot 10^2\text{m}, \text{z} = 15\text{m}, \text{t} = 6 \cdot 10^{-5}\text{s}$$

2. Drugi zadatak se može takođe svrstati u zadatke prvog nivoa. Od učenika se očekuje poznavanje pojma kontrakcije dužine i primene odgovarajuće formule na dati uslov zadatka. Očekivanje je takvo da preko 80% učenika može rešiti ovaj računski problem.

Rešenje:

$l_0 = 100\text{m}$

$\Delta l = 1\text{mm} = 0{,}001\text{m}$

$v = ?$

$l = l_0 - \Delta l = 99{,}995\text{m}$

$$l = \frac{l_0}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$l = l_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Kvadriranjem leve i desne strane dobija se:

$$\left(\frac{l}{l_0}\right)^2 = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{l}{l_0}\right)^2$$

Zamenom brojnih vrednosti u gornji izraz dobija se numerička vrednost brzine:

$$v = 1{,}34 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Brzina kojom telo treba da se kreće da bi kontrakcija bila 1mm *iznosi* $1{,}34 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

3. Treći zadatak po težini može da se svrsta u zadatke drugog nivoa. Pored toga što učenik treba da zna pojam dilatacije vremena on mora da se priseti i zakona ravnomernog pravolinijskog kretanja. Za rešavanje ovog zadatka je potrebno nekoliko matematičkih operacija. Očekuje se da će više od 50% učenika rešiti ovaj zadatak.

Rešenje:

$\tau_0 = 7\text{s}$

$v = \frac{24}{25} c$

$\tau = ?$

$s = ?$

Vreme izmereno u raketi je sopstveno vreme, a odgovarajući vremenski interval u sistemu vezanom za zvezdu je:

$\tau = \tau_0 \gamma \approx 25\text{s}$

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Pod uslovom da se raketa kreće nepromenljivom brzinom, pređeni put se dobija iz poznatog obrasca za ravnomerno pravolinijsko kretanje:

$s = v \cdot \tau = 72 \cdot 10^8 \text{m}$

Put koji raketa pređe u odnosu na nepokretnu zvezdu iznosi $72 \cdot 10^8 \text{m}$.

4. Zadatak se sastoji iz dva dela. U delu zadatka pod a, očekuje se od učenika primena stečenog znanja iz prethodnih godina i nekoliko matematičkih operacija. Zadatak pod b, ne zahteva upotrebu brojnih vrednosti već samo izražavanje nepoznate fizičke veličine preko poznatih formula. Zadatak se po težini može svrstati u zadatke trećeg nivoa.

Rešenje:

a) $E_k = E_0$
   $v = ?$

Iz zadatog uslova $E_k = E_0$, može se odrediti brzina čestice preko formule za kinetičku energiju:

$E_k = E - E_0$

$2E_0 = E$

$2E_0 = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}=\frac{1}{2}$$

Kvadriranjem leve i desne strane dobija se:

$$1-\frac{v^2}{c^2}=\frac{1}{4}$$

$$\frac{v^2}{c^2}=0{,}75$$

$$v^2=0{,}75c^2$$

$$v=0{,}87c$$

Brzina kojom treba da se kreće čestica iznosi $0{,}87c$.

b) $E_k=5E_0$
   $m-masa\ je\ poznata$
   $v=?$
   $p=?$

Iz zadatog uslova $E_k=5E_0$, može se odrediti brzina čestice preko formule za kinetičku energiju:

$$E_k=E-E_0$$

$$6E_0=E$$

$$6E_0=\frac{E_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}=\frac{1}{6}$$

Kvadriranjem leve i desne strane dobija se:

$$1-\frac{v^2}{c^2}=\frac{1}{36}$$

$$\frac{v^2}{c^2}=0{,}972$$

$$v=0{,}986c$$

Impuls se može izračunati na dva načina:

Prvi način: Iskoristi se zadati uslov da je $E_k = 5E_0$ i formula koja povezuje impuls i energiju $p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}$.

Drugi način: Impuls se može izraziti preko poznate mase m i dobijene brzine v, $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$.

Veza između energije i impulsa:

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}$$

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{5E_0(5E_0 + 2E_0)}$$

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{35{E_0}^2}$$

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{35m^2c^4}$$

$$p = mc\sqrt{35}$$

Brzina čestice iznosi 0,986c, *a impuls* $mc\sqrt{35}$.

5. Prema broju logičkih i metematičkih operacija ovaj zadatak se može okarakterisati kao najkomleksniji. Spada u zadatke trećeg nivoa. Očekuje se da će najmanji procenat učenika moći da savlada ovaj računski problem.

Rešenje:

$m_\alpha = 4m_p$

$E_\alpha = 3E_p$

$q_\alpha = 2q_p$

$E_{0p} = 938$ MeV

$U_\alpha = U_p = U = ?$

α- čestica i proton počinju kretanje iz mirovanje. Početna kinetička energija obe čestice je nula. $E_{k_{0\alpha}} = E_{k_{0p}} = 0$

Obe čestice prelaze istu potencijalnu razliku. Rad koji izvrše ove čestice jednak je:

$A_\alpha = q_\alpha U = \Delta E_{k\alpha} = E_{k\alpha} = E_\alpha - E_{0\alpha}$

$A_p = q_p U = \Delta E_{kp} = E_{kp} = E_p - E_{0p}$

$q_\alpha U = E_\alpha - E_{0\alpha}$

$2q_p U = 3E_p - 4E_{0p}$

$$U = \frac{3E_p - 4E_{0p}}{2q_p}$$

Dobijeni izraz za napon U se vraća u formulu za kinetičku energiju protona:

$E_p - E_{0p} = q_p U$

$$E_p - E_{0p} = q_p \frac{3E_p - 4E_{0p}}{2q_p}$$

Ceo izraz se množi sa 2 i sraćuju se naelektrisanja protona:

$2E_p - 2E_{0p} = 3E_p - 4E_{0p}$

$E_p = 2E_{0p}$

Dobijeni odnos energija se vraća u izraz za napon U:

$$U = \frac{3E_p - 4E_{0p}}{2q_p}$$

$$U = \frac{6E_{0p} - 4E_{0p}}{2q_p} = \frac{E_{0p}}{q_p} = \frac{938\text{ MeV}}{q_p}$$

$e = q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$

$U = 938\text{MV}$

Traženi napon iznosi 938MV.

Analiza uspeha

Nakon urađenog kontrolnog sledi analiza uspeha. Rezultati kontrolnog zadatka dati su u tabeli 1.

	BR. UČENIKA	BR. UČENIKA %
ODLIČAN	5	17,86
VRLO DOBAR	6	21,43
DOBAR	10	35,71
DOVOLJAN	3	10,71
NEDOVOLJAN	4	14,29

Tabela 1. Rezultati kontrolnog zadatka

U odeljenju $4O_1$ ima 28 učenika. Svi učenici su radili kontrolni zadatak. Od toga je pozitivan uspeh ostvarilo 24 učenika odnosno 85,71% dok su 4 učenika ocenjena nedovoljnom ocenom, 14,29%.

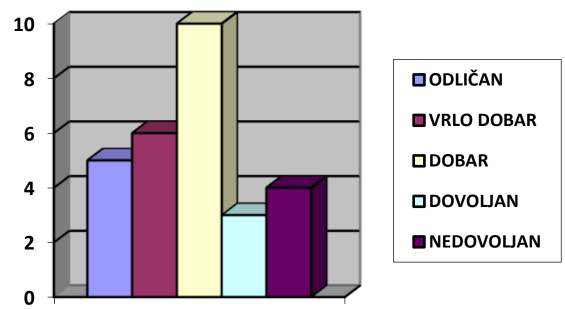
Maksimalan broj bodova koje učenik može da ostvari na kontrolnom je 100.

Ocenu 5 dobijaju učenici koji imaju ukupan broj bodova od 85%-100%.
Ocenu 4 dobijaju učenici koji imaju ukupan broj bodova od 70%-84%.
Ocenu 3 dobijaju učenici koji imaju ukupan broj bodova od 50%-69%.
Ocenu 2 dobijaju učenici koji imaju ukupan broj bodova od 30%-49%.
Ocenu 1 dobijaju učenici koji imaju ukupan broj bodova od 0%-29%.

Prva dva zadatka spadaju u zadatke prvog nivoa i nose po 15 bodova. Treći zadatak spada u zadatke drugog nivoa i nosi 20 bodova, dok četvrti i peti zadatak spadaju u zadatke trećeg nivoa i nose po 25 bodova.

Jedan učenik je imao maksimalan broj bodova.
Najveći broj učenika imao je ostvarenost od 50%-69%. Najviše njih je rešilo prva tri zadatka i započelo četvrti pod a.
Dva učenika nisu uspela da ostvare ni 15 bodova, odnosno nisu uspela da reše nijedan od zadataka prvog nivoa.

Uspeh učenika je predstavljen grafički na slici 5.



Slika 5. Analiza uspeha sa kontrolnog zadatka

Prosečna ocena sa kontrolnog na nivou odeljenja je dobar 3,18.

6. Zaključak

Fizika je fundamentalna nauka koja se bavi izučavanjem prirodnih pojava i zakona. Samo izučavanje ove nauke je od krucijalnog značaja za razvoj tehnike kako u industriji tako i u medicini. Kako bi se razumela suština ovog predmeta glavnu ulogu igra nastavnik. Njegovo izvođenje nastave i ažurnost na času motivisaće učenike za učenje i probudiće zainteresovanost za ovaj predmet.

Kako bi usvojenost znanja bila potpuna i dugoročna u nastavu se uvode različiti tipovi zadataka. Uloga zadataka u nastavi fizike je da razviju logičko mišljenje, umenja i veštine kod učenika. Usvojeno znanje, stečeno na ovaj način, mogu primenjivati na konkretnim problemima u svakodnevnom životu.

Prilikom odabira zadataka nastavnik mora da obrati pažnju da li zadatak odgovara uzrastu učenika i da li prati nastavni plan i program drugih predmeta, najčešće matematike.

Gimnazija je uvek bila dobar izbor za one koji planiraju da nastave dalje školovanje. Poznavanje gradiva stečenog na nastavi fizike biće im od koristi ukoliko se budu bavili mašinstvom, građevinom, elektronikom, medicinom...

7. Literatura

1. Metodika nastave fizike, Milan O. Raspopović, Zavod za udzbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.

2. Didaktika fizike-teorija nastave fizike, Tomislav Petrović, Beograd, 1993.

3. Didaktika 1,2,3, MladenVilotijević, Zavod za udzbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1999,

4. Didaktika, Ladislav Bognar, Milan Matijević, Školska knjiga, Zagreb, 2002.

5. Metodika nastave fizike, skripta Dušan Lazar.

6. Zbirka zadataka i testova za četvrti razred gimnazije, Nataša Čaluković, KRUG Beograd.

7. Fizika za četvrti razred gimnazije, Nataša Čaluković, KRUG Beograd.

Prilog 1. Nastavni plan i program

Prema nastavnom planu i programu propisanom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za obradu nastavne teme STR u četvrtom razredu gimnazije potrebno je osam časova redovne nastave, dva časa dopunske i dva časa dodatne nastave. Sa ovom nastavnom temom učenici se susreću na samom početku školske godine (Slika 6).

МЕСЕЧНИ ПЛАН РАДА					Предмет:физика Разред: 4д,4о					
наставне теме	Васпитно-образовни циљеви	М	Кум. Бр. Часа	наставне јединице	Број час.	Тип часа	Метод	Облик рада	Наставна средства и литература	Напомене
Теорија релативности. Квантна природа електромагнетног зрачења	Развој способности логичког мишљења	IX	1	Уводни час	1	кч	д	ф	М.Распоповић: Физика за четврти разред гимназије општег и друштвеног смера; Н.Чалуковић: Збирка задатака за четврти разред гимназије	
			2	Основни постулати специјалне теорије релативности	1	онг	м	ф		
			3	Контракција дужине и дилатација времена	1	онг	м	ф		
			4	Релативистичка маса и енергија	1	онг	м	ф		
			5	Утврђивање градива	1	пу	д	ф		
			6	Израда задатака	1	в	д	ф		
			7	Понављање градива	1	пу	д	и		
			8	Контролна вежба	1	по	т	и		
			9	Топлотно зрачење	1	онг	м	ф		

Тип часа:онг-обрада новог градива
пу-понављање и утврђивање
в-вежбање
по-понављање и оцењивање
кч-комбиновани час

Методе:м-монолошка
д-дијалошка
т-текстуална
ил-илустр.демонстр.
ле-лаборат.експерим.

Облици рада:и-индивидуални
г-групни
ф-фронтални
п-рад у паровима

потпис професора:

Slika 6. Mesečni plan rada za četvrti razred gimnazije

Kratka biografija

Ljubinković Ivana je rođena 10.5.1989. godine u Sremskoj Mitrovici. Osnovnu školu „Veljko Dugošević“ u Rumi završava 2004. godine, potom upisuje prirodno-matematički smer gimnazije „ Stevan Puzić“ u istom mestu.

2008. godine po završetku gimnazije opredeljuje se i upisuje Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu na Departmanu za fiziku, smer profesor fizike.

2018. godine upisuje master akademske studije na istom smeru.

Od 2014. godine radi kao profesor u osnovnim i srednjim školama

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: **RBR**	
Identifikacioni broj: **IBR**	
Tip dokumentacije: **TD**	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: **TZ**	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada: **VR**	Master rad
Autor: **AU**	Ivana Ljubinković
Mentor: **MN**	Prof. dr Maja Stojanović
Naslov rada: **NR**	Obrada nastavne teme „ Specijalna teorija relativnosti“u četvrtom razredu gimnazije kroz računske primere
Jezik publikacije: **JP**	Srpski (latinica)
Jezik izvoda: **JI**	Srpski/engleski
Zemlja publikovanja: **ZP**	Srbija

Uže geografsko područje: **UGP**	Vojvodina
Godina: **GO**	2019.
Izdavač: **IZ**	Autorski reprint
Mesto i adresa: **MA**	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi sad
Fizički opis rada: **FO**	7 poglavlja/57 strana/6 slika/ 1 tabela
Naučna oblast: **NO**	Fizika
Naučna disciplina: **ND**	Metodika nastave fizike
Predmetna odrednica/ključne reči: **PO** **UDK**	Specijalna teorija relativnosti, srednja škola, računski zadaci
Čuva se: **ČU**	Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
Važna napomena: **VN**	Nema
Izvod: **IZ**	Rad se bavi obradom nastavne teme STR kroz računske primere. U radu se ističe značaj zadataka u nastavi fizike u cilju razvoja i podsticanja kritikog mišljenja kod učenika.
Datum prihvatanja teme od nastavničkog veča: **DP**	27.6.2019.

Datum odbrane:
DO

Članovi komisije:
KO

Predsednik:	dr Milan Pantić, redovni profesor
Član:	dr Branka Radulović, naučni saradnik
Član:	dr Maja Stojanović, vanredni profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATIC

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number: **ANO**	
Identification number: **INO**	
Document tipe: **DT**	Monograph type
Type of record: **TR**	Printed text
Contents code: **CC**	Final paper
Author: **AU**	Ivana Ljubinković
Mentor: **MN**	PhD Maja Stojanović
Title: **TI**	Threatment of the theme "Special theory of reltivity"in high school through computational examples.
Language of text: **LT**	Serbian (latin)
Language of abstract: **LA**	English
Country of publication: **CP**	Serbia

Locality of publication: **LP**	Vojvodina
Publication year: **PY**	2019
Publisher: **PU**	Autor′s reprint
Publication place: **PP**	Faculty of Science and Mathematic, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
Physical description: **PD**	7 chapters / 57 pages / 6 pictures / 1 table
Scientific field: **SF**	Physics
Scientific discipline: **SD**	Methodology of solving arithmetic Problems
Subject/key words: **SKW** **UC**	Special theory of relativity, high school, computational examples
Holding data: **HD**	Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4
Note: **N**	None

Abstract:
AB

This paper is about threatment of the theme “Special theory of relativity”through computional examples. The paper tells how computional examples are important for developing and encouraging critics opinion among students.

Accepted by the Scientific Board on: ASB	27.6.2019.
Defended on: DE	
Thesis defend board: DB	
President:	PhD Milan Pantić, full professor
Member:	PhD Branka Radulović,research associate
Member:	PhD Maja Stojanović, associate professor