

# Newtonovi zakoni ili aksiomi?

Berti Erjavec<sup>1</sup>

## Uvod

Gibanje i međudjelovanja proučava mehanika, koja je ujedno i najstarija grana fizike. Ako se ograničimo na mehaniku malih brzina u usporedbi s brzinom svjetlosti, te dovoljno velik prostor u kojem se gibanje događa, tada se bavimo klasičnom mehanikom u kojoj vrijede Newtonovi zakoni mehanike. Susreću se u svim srednjoškolskim udžbenicima fizike, te se pri tome “izvode” ili “dokazuju” pokusima. Ovdje ćemo razmatrati koliko je takav pristup znanstveno korektan i metodički opravdan.

## Prvi Newtonov zakon

Jednoliko gibanje po pravcu za *Aristotela* je bilo neprirodno gibanje, jer se odvijalo samo pod vanjskom prisilom. Ako bi nestalo vanjske prisile, gibanje bi prestajalo. To je zaključio promatrajući kako lučki radnici u Pirejskoj luci vuku brodove. Sličnom iskustvu izloženi smo u vlastitom životu od najranijeg djetinjstva. Dok dijete gura autić s kojim se igra, on se giba. Kada prestane, zaustavlja se. Dok okrećemo pedale bicikla, on se kreće. Kada prestanemo okretati, gibanje prestaje. To iskustvo ostaje duboko usađeno u nama i teško ga je iskorijeniti. Revolucionaran iskorak u području mehanike došao je s Galilejem. Radeći pokuse s kosinom on je došao do glasovitog *principa ustrajnosti* koji se suprotstavlja Aristotelovoj dogmi. O tome je rekao: *Giba li se tijelo horizontalno bez ikakva otpora, to je gibanje jednoliko i na beskonačnoj ravnini ono neprestano postoji*. Time su udareni temelji modernoj fizici i znanosti uopće. Newton je preuzeo Galilejev princip ustrajnosti, ali je formulirao prvi Newtonov zakon koristeći pojam sile [1]:

- *Svako tijelo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu, sve dok ga vanjske sile ne prisile da to stanje ne promijeni.*

*Inercija ili ustrajnost* je unutarnje svojstvo tijela koje se opire promjeni stanja mirovanja ili gibanja. Mjera tromosti tijela je njegova masa, a tako definirana masa naziva se *troma masa*.

*Inercijalni referentni sustav* je sustav u kojem vrijedi prvi Newtonov zakon. U tom sustavu će tijelo koje miruje ostati u stanju mirovanja, a tijelo u gibanju gibat će se jednoliko po pravcu ako na tijelo ne djeluje vanjska sila.

## Možemo li prvi Newtonov zakon dokazati pokusom?

Jednostavno, mi ne možemo pronaći mjesto na kojem možemo biti sigurni da na tijelo ne djeluje niti jedna vanjska sila. Čak negdje daleko u svemiru, daleko od svih masa, na nas mogu djelovati određene sile. Ako zamislimo situaciju u kojoj bi u cijelom svemiru postojalo samo jedno tijelo, tada na tijelo ne bi djelovala vanjska sila, ali kako

<sup>1</sup> Dipl. inž., Institut za fiziku, Zagreb; e-pošta: berti@ifs.hr

bi tada odredili da li se tijelo uopće giba, jer ne bi postojala druga tijela prema kojima bi određivali gibanje? Dakle, prvi Newtonov zakon nije moguće egzaktno provjeriti pokusom, ali najvažnija posljedica tog zakona je da ako su sile na tijelo uravnotežene, odnosno ako je ukupna sila na tijelo jednaka nuli, tijelo se ponaša kao da na njega ne djeluje sila. Brojni primjeri podložni su eksperimentalnoj provjeri i do sada se niti jedan eksperimentalni rezultat nije njemu suprotstavio. Zbog toga smatramo da prvi Newtonov zakon možemo prihvatiti kao aksiom.

## Drugi Newtonov zakon

Drugi Newtonov zakon je temeljni zakon mehanike i glasi:

- *Akceleracija tijela posljedica je djelovanja sile na tijelo određene mase. Akceleracija tijela ima smjer sile i razmjerna je sili, a obrnuto razmjerna masi tijela,*

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m}.$$

Na taj način naglašavamo činjenicu da je akceleracija tijela posljedica djelovanja sile na tijelo, te ovisi o vanjskom uzroku (sila) i unutarnjem svojstvu (masa) [2]. U mnogim udžbenicima taj zakon izražava se drugačije, tako da se sila izražava preko umnoška mase i akceleracije

$$\vec{F}_R = m\vec{a}.$$

Taj zakon koristimo kao dinamičku definiciju sile. Kažemo da ako tijelo ima akceleraciju, na njega djeluje ukupna sila jednaka umnošku mase i akceleracije tijela. On nam omogućava da povežemo silu kao uzrok gibanja s gibanjem tijela kao posljedicom djelovanja sile. Ako poznajemo ukupnu silu koja djeluje na tijelo u nekom trenutku, masu tijela, njegov točan položaj i početnu brzinu jednadžba

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{\vec{F}_R}{m}$$

omogućava izračunavanje budućeg položaja tijela tijekom vremena  $r(t)$ . Snaga tog zakona je precijenjena do te mjere da je dovela do *determinizma*, filozofskog pravca koji smatra da je već unaprijed sve predodređeno. U tom zakonu pojavljuje se masa tijela. Ono je osnovno svojstvo tvari i mjera je tromosti ili inercije. Masa se može odrediti temeljem jednadžbe gibanja, ako nam je poznata akceleracija i sila koja djeluje na tijelo. Tako definirana masa zove se *troma masa*. Pitanje mase i dalje intrigira znanstvenike i predmet je recentnih znanstvenih istraživanja [3].

Također, razvidno je da u slučaju da nema sile ili je ukupna sila jednaka nuli, tijelo može samo mirovati ili se gibati bez ubrzanja jednoliko po pravcu. Time je u prvi Newtonov zakon matematički sadržan u drugom zakonu. Zašto se onda ne izostavlja? Osim velike povijesne važnosti, te široke primjene prvi Newtonov zakon važan je jer definira uvjete u kojem vrijedi drugi Newtonov zakon (inercijalni sustavi). Tek ako sustav miruje ili se giba jednoliko po pravcu akceleracija tijela u tom sustavu bit će posljedica djelovanja sile na tijelo, a ne posljedica ubrzanja samog sustava.

## Možemo li drugi Newtonov zakon dokazati pokusom?

U mnogim školskim udžbenicima pronaći ćete pokus u kojem jednostavno treba izmjeriti silu koja djeluje na tijelo i njegovu masu, te izmjeriti akceleraciju. Nakon toga provjerimo da li akceleracija tijela odgovara njihovom omjeru. Tako se eksperimentalno “dokazuje” ili čak “izvodi” drugi Newtonov zakon. Ipak, pogledajmo malo pažljivije o čemu se radi. Sila se definira umnoškom mase i akceleracije, a masa se definira omjerom sile i akceleracije. Nakon toga se akceleracija računa dijeljenjem sile i mase. Zapravo time nismo ništa dokazali, već se vrtimo u začaranom krugu, *circulus vitiosus*. Zato je i drugi Newtonov zakon, gledan zasebno, zapravo aksiom, jer se kružni dokaz ne može prihvatiti.

## Treći Newtonov zakon

Treći Newtonov zakon ili zakon akcije i reakcije glasi:

- Ako jedno tijelo djeluje na drugo tijelo nekom silom, onda istovremeno drugo tijelo djeluje na prvo tijelo jednakom silom suprotnog smjera,

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

Sile akcije i reakcije se ne poništavaju, jer djeluju na različita tijela. Važno je naglasiti da se sile akcije i reakcije pojavljuju istodobno, odnosno da se sile uvijek javljaju u parovima, čak i kada to nije posve očito. Uvijek postoji tijelo koje djeluje na drugo tijelo. Sile akcije i reakcije moraju biti po svojoj prirodi iste sile. Također, zakon vrijedi u svim referentnim sustavima, bez obzira na njihovo ubrzanje.

## Možemo li treći Newtonov zakon dokazati pokusom?

Ako čovjek gura zid nekom silom, na ruci osjeti da zid gura ruku nekom silom. Kako možemo biti sigurni da su to dvije jednake sile? Ne možemo biti sigurni bez uvođenja u igru trećeg tijela. Stavimo list papira između zida i ruke. Tada na list papira djeluju dvije sile, sila ruke i sila zida. Kada se te dvije sile ne bi poništavale, rezultantna sila bi ubrzala list papira, što se ne događa. Zaključujemo da sile moraju biti jednake po iznosu i suprotne po smjeru. Ipak, naš dokaz se oslanja na drugi Newtonov zakon, kojeg također ne možemo dokazati. Zato i ovako izvedeni “dokaz” ipak ne dokazuje treći Newtonov zakon, već ga možemo prihvatiti kao aksiom.

## Možemo li izaći iz začaranog kruga?

Unutar Newtonove aksiomske cjeline nije moguće izaći iz začaranog kruga. Svi zakoni moraju se prihvatiti kao aksiomi, jer ih je nemoguće direktno provjeriti pokusom. Ako učinimo iskorak, te uvedemo pojam količine gibanja, situacija se mijenja. Koristeći zakon očuvanja količine gibanja, moguće je masu definirati na nezavisan način. *R. Feynman* [4] upravo to koristi da bi definirao masu. Dovoljno je zamisliti dva spojena

autića između kojih je postavljena opruga. Ako se autići oslobode, iz odnosa njihovih brzina možemo odrediti odnose masa,

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}.$$

Uvođenjem etalona jedinične mase, sve mase mogu biti jednoznačno definirane na taj način. Nakon nezavisne definicije mase, sila se može jednoznačno dinamički definirati. Problem definicije mase ostaje aktualan do danas [5].

---

## Zaključak

---

Najviše iznenađuje da se Newtonovi zakoni ne mogu niti “dokazati” niti “izvesti”, a ipak bez njih ne možemo uspješno opisati svijet u kojem živimo. Oni su ugrađeni u temelje prirode i bezbroj izvedenih pokusa kojima testiramo njihove posljedice pokazuju da ih moramo prihvatiti kao aksiome. Za potpuno opisivanje fizikalnih pojava gibanja i međudjelovanja tijela potrebna su sva tri Newtonova zakona. Tek njihovom kombinacijom dobivamo potpunu i korektnu fizikalnu sliku.

Pokusi kojima se u nastavi fizike provjeravaju Newtonovi zakoni samo su pojedini primjeri kojima se demonstrira primjena Newtonovih zakona na konkretne fizikalne situacije, a ne njihov dokaz. Zbog toga bi, u cilju znanstvene korektnosti, u nastavi fizike trebalo osvijestiti tu činjenicu, te umjesto Newtonovi zakoni koristiti naziv Newtonovi aksiomi.

---

## Literatura

---

- [1] M. PAIĆ, *Gibanja-Sile-Valovi*, Školska knjiga, Zagreb, 1997.
- [2] A. DULČIĆ, *Udžbenik iz mehanike (u izradi)*, <http://www.phy.pmf.unizg.hr/~gniksic/nastava/of1/dat/knjiga/Mehanika.pdf>
- [3] J. ROCHE, *What is mass?*, Eur. J. Phys. **26**, 225–242 (2005).
- [4] R. FEYNMAN, *The Feynman Lectures on Physics*, Addison Wesley, (2nd ed.), 1995.
- [5] R. L. COELHO, *On the Definition of Mass in Mechanics: Why Is it So Difficult?*, The Phy. Teacher **50**, (2012).