

Intuitivna mehanika: Zaključivanje o vertikalnom hicu navije

Milana Damjениć, Strahinja Dimitrijević

Filozofski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

Sažetak

Ljudsko je intuitivno znanje o mehanici, tj. znanje stečeno kroz osobno iskustvo o brzini, ubrzanju, uzrocima kretanja itd., često pogrešno. Cilj je ovoga istraživanja utvrditi javljaju li se takve greške i u slučaju vertikalnog hica navije. U prvom je eksperimentu ispitano zaključivanje o brzini i ubrzanju lopte koja se kreće vertikalno uvis, dok je u drugom eksperimentu provjereno utječu li masa bačene lopte i snaga bacanja na zaključak. Više od tri četvrtine ispitanika pogrešno smatra da lopta ne dosiže maksimalnu brzinu u početnoj točki putanje i da se njezina brzina povećava nakon što je bačena uvis. Nije dobiven efekt mase objekta ni efekt jačine bacanja na zaključivanje o brzini i ubrzanju kretanja lopte. Ovakvi rezultati izlaze iz okvira teorije impetusa, najčešće korištene teorije za objašnjavanje naivnog razumijevanja dinamike kretanja objekata. U radu su razmotreni razlozi zašto pristup akcije na objektima i heuristike prenosa obilježja predstavljaju perspektivniji okvir za objašnjenje rezultata.

Ključne riječi: vertikalni hitac navije, teorija impetusa, pristup akcije na objektima, heuristike prenosa obilježja

Uvod

Unatoč bogatom iskustvu u vezi s kretanjem objekata dosad je prikupljen velik broj nalaza koji nedvosmisleno pokazuju da je ljudsko intuitivno znanje o karakteristikama kretanja i njegovim uzrocima, tj. znanje stečeno kroz osobno iskustvo (Buteler i Coleoni, 2014; Sherin, 2006), često u suprotnosti s principima klasične mehanike. Tako, nerijetko pogrešno, predviđamo da će lopte različite mase u slobodnom padu, istovremeno bačene s jednake visine, pasti na tlo u različito vrijeme (Whitaker, 1983) ili da će lopta ispaljena iz zakrivljene cijevi neko vrijeme nastaviti kretanje putanjom koja nalikuje obliku cijevi, umjesto pravolinijski (McCloskey, 1983). Ovo su primjeri ukorijenjenih "zdravorazumskih" pristupa

✉ Milana Damjениć, Filozofski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Bulevar vojvode Petra Bojovića, 1A, 78000 Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina. E-pošta: milana.damjenic@gmail.com

razumijevanju kretanja (Whitaker, 1983), odnosno intuitivnih predkonceptija o ključnim konceptima i temeljnim principima mehanike, koje razvijamo prije formalnog obrazovanja iz fizike (Clement, 1982). Naime, prije formalno stečenog znanja o kretanju posjedujemo intuitivni osjećaj za značenje konceptata koji su povezani s kretanjem, kao što su vrijeme, pozicija, brzina, ubrzanje itd., utemeljen na osobnom iskustvu (više u Trowbridge i McDermott, 1980; White, 1983). Za razliku od operacionalno definiranih znanstvenih konceptata kretanja ovakvi su *protokoncepti* (engl. *protoconcepts*; Trowbridge i McDermott, 1980) utemeljeni na intuiciji, nejasni su, neodređeni i nedovoljno razgraničeni.

Prvu je koherentnu teoriju u vezi s ovom problematikom, *teoriju impetusa – TI* (engl. *Impetus Theory*), ponudio McCloskey (Caramazza, McCloskey i Green, 1981; McCloskey, 1983), koji je pokušao objasniti brojne greške u zaključivanju o kretanju i koji tvrdi da kroz svakodnevno iskustvo s kretanjem objekata razvijamo *naivne teorije* kretanja – *NT* (engl. *Naive Theories*). NT se zasniva na pretpostavci da se prilikom pokretanja objekta tom objektu predaje pokretačka sila (engl. *impetus*), koja postaje njegova unutrašnja sila koja ga održava u pokretu. Međutim, ova sila postupno slabi zbog čega objekti usporavaju i na kraju se zaustavljaju. Cooke i Breedin (1994) ne podržavaju tvrdnju da posjedujemo jedan opći, "naivan" TI (McCloskey, 1983), već smatraju da se prilikom zaključivanja o kretanju u obzir uzima velik broj raznovrsnih informacija (vidi i White, 1983). Pri tome kontekstualnim faktorima (kao što su, na primjer, vrsta kretanja, karakteristike objekata u interakciji, način na koji je zadatak formuliran) pridaju presudan značaj, tvrdeći da se ove informacije koriste kako bi se objašnjenje konstruiralo tijekom samog rješavanja zadatka, a da je uloga naivnih konceptata, ako oni uopće postoje, manje značajna (Cooke i Breedin, 1994). Neki autori ne negiraju značaj kontekstualnih faktora, ali i ne odbacuju ni mogućnost postojanja NT (DiSessa, Gillespie i Esterly, 2004; Kaiser, Jonides i Alexander, 1986; Ranney, 1994), jer je on, iako različit od osobe do osobe, pod utjecajem konteksta i nekonzistentan, u velikoj mjeri zasnovan na neiskustvenim, sistematičnim i vremenski stabilnim informacijama (Ranney, 1994). Međutim, nije dovoljno samo pribaviti izvještaj o NT; neophodno je identificirati "kognitivne sustave", koji pridonose stvaranju ili čine NT, kao i ustanoviti kada koji od tih sustava djeluje, kako stupaju u interakciju i što utječe na konačnu formulaciju NT (Leiser, 2001). Pokušaj je u ovom pravcu *pristup akcije na objektima – PANO* (engl. *Actions on Objects*), koji polazi od pretpostavke da nakon djelovanja na objektima u dugoročnom pamćenju ostaju epizodički tragovi – *pohranjene reprezentacije akcija* (engl. *Stored Representations*), koje na taj način postaju osnova za razumijevanje uzročnosti kretanja (White 2012a, 2012b). Ove reprezentacije pored vizualnih sadrže i kinestezičke te taktilne informacije, koje nastaju u situaciji u kojoj je izazvano kretanje objekta, kao i povratne informacije o podudarnosti između planiranih akcija i posljedica djelovanja na objekt. Vanjski se podražaj uspoređuje s pohranjenim reprezentacijama i ova usporedba pruža informacije za objašnjavanje karakteristika kretanja (White, 2012b). Druga važna pretpostavka, koja se ogleda u *heuristikama prenosa odlika – HPO* (engl. *Property*

Transmission Heuristics; White, 2009), podrazumijeva da se karakteristike događaja, za koji se pretpostavlja da je uzrok kretanja, prenose na njegove ishode češće nego što se to zaista događa u realnosti.

TI (McCloskey, 1983) i PANO (White, 2012a, 2012b) u određenim situacijama daju suprotstavljena predviđanja ishoda procesa zaključivanja o kretanju objekata, kao u slučaju zaključivanja o brzini i promjenama brzine kretanja kod horizontalnog hica (na primjer, kada jedna osoba baca loptu drugoj). Ako je putanja u obliku parabole, ispitanici najčešće biraju točku neposredno prije vrha kao poziciju u kojoj lopta dostiže najveću brzinu (dakle, nedaleko od točke u kojoj je stvarna brzina lopte jednaka nuli), dok je u slučaju pravolinijske putanje ta pozicija nešto bliža bacaču, ali i dalje različita od početne točke putanje, koja predstavlja točno rješenje (Hecht i Bertamini, 2000). Također, 37% ispitanika smatra da kretanje lopte ubrzava odmah nakon što je izbačena iz ruke, a tek nakon toga usporava (Hecht i Bertamini, 2000). Ovakve nalaze ne može objasniti TI (McCloskey, 1983), koji predviđa da će lopta, odmah po izbačaju, ili eventualno nakon razdoblja u kojem se kreće konstantnom brzinom početi usporavati. Zbog toga Hecht i Bertamini (2000), anticipirajući PAO (White, 2012a, 2012b), pretpostavljaju da je moguće da eksternaliziramo dinamiku svog tijela na objekt nakon što je on izbačen iz ruke kako bi predvidjeli brzinu.

Postojanje mogućnosti da se informacije o vlastitim akcijama na objektima koriste pri objašnjenju kretanja demonstrirano je i u slučaju vertikalnog hica navješ (Clement, 1982). U zadatku u kojem je potrebno označiti sile koje djeluju na novčić kada se baci uvis 88% ispitanika dalo je pogrešan odgovor navodeći da pored gravitacije na novčić djeluju i druge sile, od čega ih je 90% nacrtalo silu koja djeluje nagore. Ovi nalazi ne izlaze iz okvira TI, u okviru koje sila, za koju se smatra da djeluje na gore, može biti protumačena kao sila koju je predmet preuzeo od uzroka kretanja (McCloskey, 1983), ni PANO i HPO, po kojima je važna odlika uzročnog događaja sila koju bacač primjenjuje na objekt, zbog čega je moguće pretpostaviti da se vrši prenos ove odlike i na sam novčić nakon što je izbačen iz ruke (White, 2009, 2012a, 2012b). Očigledno je da se u razmatranju koncepta sile između ovih dviju teorija ne može napraviti razlika s aspekta mogućnosti predviđanja odgovora.

Pored sila, za koje se smatra da djeluju na objekt, jedna od razmatranih varijabli u istraživanjima jest i masa objekta koji se baca (Kozhevnikov i Hegarty, 2001; Proffitt i Gilden, 1989). Postoji pogrešno uvjerenje da će se od dva objekta koja su bačena pod istim uvjetima teži objekt u uzlaznom dijelu putanje kretati sporije od lakšeg (Kozhevnikov i Hegarty, 2001). Čak i kada se eksplicitno traži da se zanemari otpor zraka, kako bi se izuzeo mogući utjecaj ove varijable na zaključivanje, u više od polovine slučajeva (61.3%) pogrešno se vjeruje da će lakši objekt prije dostići zadanu visinu. Prema TI (McCloskey, 1983) ovi se nalazi mogu objasniti time da teži objekti lakše gube pokretačku silu preuzetu od uzroka kretanja jer sila gravitacije na njih djeluje jače nego na lakše objekte i "vuče" ih suprotno sili koja održava kretanje. Rezultati se, međutim, mogu tumačiti i u svjetlu greške "otpor – brzina" (Rohrer, 2002), koja podrazumijeva uvjerenje da objekt koji pruža veći otpor bacanju

uvis brže usporava od onog koji pruža manji otpor. Budući da objekt veće mase pruža veći otpor pri bacanju, masa objekta postaje važna značajka za zaključivanje o karakteristikama brzine kretanja (Rohrer, 2002). Ovu tvrdnju White (2012b) vidi kao podršku korištenju PANO. Međutim, u ovom se slučaju ne može primijeniti HPO (White, 2009) jer se on odnosi na karakteristike kretanja koje se u trenutku njihove interakcije prenose s jednog objekta na drugi, a ne na to što se događa s kretanjem objekta nakon što je kretanje započelo i nakon što je uzrok kretanja prestao djelovati na objekt (White, 2009).

Iz prethodne je rasprave vidljivo da nije moguće izvesti jednoznačan zaključak u prilog TI (McCloskey, 1983) ili PANO (White, 2012a, 2012b). U nekim slučajevima ovi pristupi daju jednoznačne predikcije, a u nekim ne. Tako, na primjer, kada se promatra samo pravac sile koja djeluje na objekte (Clement, 1982), postoji slaganje u predviđanju ishoda zaključivanja. Međutim, u slučaju zaključivanja o brzini objekta bačenog vertikalno uvis dobivaju se različita predviđanja: prema PANO (White, 2012a, 2012b) i nalazima do kojih su došli Hecht i Bertamini (2000) može se očekivati da će ispitanici zaključiti da će objekt inicijalno ubrzavati kretanje nakon što je izbačen iz ruke, dok bi se prema TI (McCloskey, 1983) dalo zaključiti da će objekt, odmah nakon što je izbačen iz ruke ili nakon nekog vremena tijekom kojeg se kreće konstatnom brzinom, početi usporavati. Otvorenim ostaje i pitanje utječu li na zaključivanje o kretanju objekata bačenih uvis vrijednosti kao što su masa objekta ili snaga hica. Naime, na temelju pogrešne pretpostavke da se lakši objekti bačeni uvis kreću brže i dostižu svoju maksimalnu visinu ranije od težih objekata (Kozhevnikov i Hegarty, 2001), indirektno se mogu izvesti zaključci o mogućim odgovorima ovisno o tome što ispitanici smatraju da se događa s brzinom u početnom dijelu putanje.

Kako bi provjerili ove pretpostavke, provedena su dva eksperimenta u kojima su ispitanici imali zadatak procijeniti položaj objekta – lopte, kada ona postiže maksimalnu brzinu, te odgovoriti na pitanje o ubrzanju kada im na raspolaganju stoje dodatne informacije o masi lopte i snazi bacanja uvis te kada im te informacije nisu dostupne.

Eksperiment 1

U slučaju horizontalnog hica postoji uvjerenje da nakon što su izbačeni iz ruke objekti ubrzavaju i maksimalnu brzinu dostižu tek nakon pređenog dijela putanje (Hecht i Bertamini, 2000). U prvom je eksperimentu provjereno hoće li se ovakve greške u zaključivanju o brzini i ubrzanju javiti i u slučaju vertikalnog hica naviše.

Metoda

Ispitanici

U istraživanju je sudjelovalo 105 studenata (89 žena) preddiplomskih studija (pedagogija, psihologija, političke znanosti, medicina, poljoprivreda i učiteljski studij) Univerziteta u Banjoj Luci. Prosječna starost ispitanika iznosila je 20 godina ($M=20$, raspon od 19 do 31 godine).

Podražaji i postupak

Ispitanici su prvo procjenjivali poziciju u kojoj se lopta bačena vertikalno uvis kreće maksimalnom brzinom, a potom odgovarali na pitanje koje se odnosilo na promjene brzine lopte duž njezine putanje.

Prvi se zadatak sastojao iz pisane upute u kojoj je od ispitanika traženo da na putanji označe točku u kojoj lopta ima maksimalnu brzinu i crteža na kojem je prikazana osoba (tzv. *stick*-crtež) koja baca loptu vertikalno uvis, lopta u trenutku izbačaja, kao i putanja lopte u vidu vertikalne prave linije (Prilog 1). Dužina je linije bila 10 cm i na njoj su označeni intervali na udaljenosti 0.5 cm. Na vrhu je linije isprekidanom linijom prikazana lopta u najvišoj točki koju dostiže prilikom bacanja.

Na drugoj se strani lista papira nalazilo zatvoreno pitanje o ubrzanju kretanja lopte, a ispitanici su trebali izabrati jedan od ponuđenih odgovora: "Lopta se kreće konstantnom brzinom, pa ubrzava.", "Lopta kontinuirano usporava.", "Lopta prvo ubrzava, a zatim usporava.", "Lopta se kreće konstantnom brzinom, a zatim usporava.", "Lopta prvo usporava, a zatim ubrzava." i "Lopta kontinuirano ubrzava.", čiji je redoslijed variran u nekoliko varijanti.

Rezultati i rasprava

Odgovori o procjeni pozicije u kojoj objekt bačen uvis ima maksimalnu brzinu svrstani su u šest kategorija, u zavisnosti od dijela putanje lopte na kojoj se točka nalazi (od kategorije točnih odgovora, tj. odgovora da lopta ima maksimalnu brzinu u početnoj točki putanje, odmah nakon što je izbačena iz ruke, do kategorije u kojoj su odgovori da lopta dostiže maksimalnu brzinu na najvišem dijelu putanje), na sličan način kako su to napravili Hecht i Bertamini (2000) u slučaju horizontalnog hica.

Točan je odgovor, da lopta dostiže maksimalnu brzinu odmah po izbačaju, dalo 17% ispitanika. Ispitanici koji su pogrešno odgovorili u prosjeku su procjenjivali da se to događa oko polovice prijedene putanje (Tablica 1.).

Tablica 1. Procjena točke maksimalne brzine lopte bačene uvis ($N=105$)

Točka maksimalne brzine	%
U početnoj točki putanje – točka izbačaja	17.1
Na početnom dijelu putanje, neposredno iza točke izbačaja	21.9
Između početnoga i središnjega dijela putanje	22.9
Na središnjem dijelu putanje	20.0
Između središnjega i krajnjega dijela putanje	17.1
Na krajnjem dijelu putanje, neposredno prije točke zaustavljanja	1.0

Na pitanje o ubrzanju lopte bačene uvis točno je odgovorilo 13% ispitanika. Najčešći je odgovor bio da lopta prvo ubrzava, a potom usporava (70% slučajeva; Tablica 2.) što je konzistentno s odgovorima ispitanika na prvo pitanje, u kojem su najčešće tvrdili da lopta dostiže maksimalnu brzinu u točki koja je različita od početne točke uzlazne putanje. U skladu je s takvom procjenom i odgovor da se lopta prvo kreće konstantnom brzinom pa usporava, jer je u tom slučaju brzina lopte ista – maksimalna u svim točkama na dijelu putanje kojim se lopta kreće konstantnom brzinom.

Tablica 2. Distribucija odgovora ispitanika na pitanje o ubrzanju lopte bačene uvis ($N=105$)

Ponudeni odgovori	%
Konstantna brzina pa ubrzava	2.8
Kontinuirano usporava	13.1
Ubrzava pa usporava	70.1
Konstantna brzina pa usporava	6.5
Usporava pa ubrzava	2.8
Kontinuirano ubrzava	4.7

Ako bi bile točne pretpostavke zagovornika pristupa o impetusu kao sili koju objekt stječe pokretanjem i koja služi održavanju kretanja dok se ne izgubi ili dok druga sila ne počne djelovati na objekt (Caramazza i sur., 1981; Kozhevnikov i Hegarty, 2001; McCloskey, 1983), uvjerenje o inicijalnom ubrzanju ne bi bilo moguće jer se impetus, kao stečena sila, ne može uvećati nakon što uzrok prestane djelovati na objekt. Odgovori koji su prihvatljivi s aspekta TI (McCloskey, 1983) su da tijelo kontinuirano usporava te da se lopta prvo kreće konstantnom brzinom pa potom usporava. Bilo koja kombinacija prethodnih odgovora o ubrzanju s odgovorom da je brzina najveća pri bacanju ili da tijelo maksimalnu brzinu ima u bilo kojoj točki putanje u kojoj se kreće konstantnom brzinom bili bi teorijski prihvatljivi. S druge strane, pogrešno se uvjerenje o ubrzanju i poziciji dostizanja

maksimalne brzine lopte može objasniti u okviru PANO (White, 2012a, 2012b) jer se ubrzanje ruke do trenutka izbačaja može protumačiti kao bitna karakteristika uzroka kretanja, koja se prenosi na samu loptu. Zbog toga ispitanici zaključuju da ona ubrzaava nakon što je bačena i da maksimalnu brzinu ne dostiže u početnoj točki putanje.

Nisu svi ispitanici koji su točno procijenili brzinu dali točan odgovor o ubrzanju, i obrnuto. Na oba je pitanja točno odgovorilo 6.5% ispitanika i za njih možemo tvrditi da imaju usvojene koncepte brzine i ubrzanja. S druge strane, za ispitanike koji su dali jedan točan, a drugi pogrešan odgovor ne možemo tvrditi da su usvojili ove koncepte u toj mjeri da ih dosljedno mogu primijeniti. Moguće je da su u jednom zadatku uspješno primijenili znanje iz fizike, dok su u drugom odgovoru bili neuspješni jer ih je različita formulacija pitanja navela da se koriste drugim "znanjima" kako bi došli do odgovora, kao što je, na primjer, HPO, koji se primjenjuje u uvjetima neizvjesnosti, kada ne posjedujemo druge, pouzdanije izvore informacija za zaključivanje (White, 2009). Međutim, ako i posjedujemo takve informacije, kao što je formalno znanje o konceptima koji se odnose na kretanje, i primijenimo ih u jednom slučaju, ne mora značiti da će drugi put biti dostupne. Moguće je, takođe, da su ispitanici odgovarali točno na jedno, a ne na drugo pitanje jer su usvojili jedan koncept (na primjer, brzine kretanja, ali ne i ubrzanja, i obrnuto).

Eksperiment 2

Pogrešno uvjerenje da će određene karakteristike objekta, kao što su masa ili otpor koji tijelo pruža pri pokretanju ili zaustavljanju, utjecati na kretanje, pronađeno je u nekoliko istraživanja (Kozhevnikov i Hegarty, 2001; Proffitt i Gilden, 1989; Rohrer, 2002). U skladu s tim, u Eksperimentu 2 provjereno je jesu li informacije o masi objekta i jačini bacanja važne za procjenu pozicije maksimalne brzine i ubrzanja objekta bačenog vertikalno uvis.

Metoda

Ispitanici

U istraživanju su sudjelovala 404 studenta (310 žena) preddiplomskih studija (pedagogija, psihologija, političke znanosti, medicina, poljoprivreda i učiteljski studij) Univerziteta u Banjoj Luci. Prosječna je starost ispitanika iznosila 20 godina ($M=20$, raspon od 18 do 28 godina). Ispitanici su podijeljeni u osam grupa, koje su brojale od 42 do 60 ispitanika, pri čemu su u svakoj grupi bili zastupljeni studenti različitih smjerova.

Podražaji i postupak

Ispitanicima su postavljena dva pitanja. Na prvoj se strani lista nalazio zadatak koje se sastojao iz verbalnog opisa i crteža, slično kao u prvom eksperimentu. Jedina je razlika bila u opisu zadatka jer su dane dodatne informacije o masi lopte i snazi hica. Variranjem je upute napravljeno osam različitih zadataka ("baci tešku loptu", "baci laganu loptu", "lagano baci loptu", "snažno baci loptu", "lagano baci laganu loptu", "lagano baci tešku loptu", "snažno baci laganu loptu" i "snažno baci tešku loptu"), pri čemu je ispitaniku prezentirana samo jedna od mogućih kombinacija.

Drugo je pitanje bilo isto kao u prvom eksperimentu, tj. ispitanici su odgovarali na pitanje što se događa s ubrzanjem lopte zaokruživanjem jednog od šest ponuđenih odgovora, čiji je redoslijed variran u nekoliko varijanti.

S obzirom na to da distribucije odgovora nisu zadovoljavale uvjete za primjenu parametrijskih tehnika, kao i da grupe nisu bile ujednačene po veličini, za provjeru pretpostavki o utjecaju snage bacanja i mase lopte na zaključivanje o karakteristikama vertikalnog hica korišteni su permutacijski testovi. Bit je permutacijskih testova u tome da se prilikom razmatranja hoće li se odbaciti nulta hipoteza vrijednost statistički izračunatih podataka ne uspoređuje s pretpostavljenom teorijskom distribucijom, već s empirijskom distribucijom podataka, koja se dobije na temelju permutacija dobivenih podataka. Ovo permutacijske testove čini veoma pogodnim za korištenje u situacijama kada nije realno pretpostaviti da su podaci normalno distribuirani, kada su prisutne ekstremne vrijednosti ili kada je uzorak isuviše mali za primjenu parametrijskih tehnika (Kabacoff, 2011). Analiza je podataka napravljena u statističkom okruženju R (R Development Core Team, 2011) uz pomoć Pearsonova χ^2 permutacijskog testa i paketa "Coin" (Zeileis, Wiel, Hornik i Hothorn, 2008).

Rezultati i rasprava

Procjene pozicije u kojoj objekt bačen uvis ima maksimalnu brzinu ponovo su svrstane u šest kategorija, u zavisnosti od dijela putanje lopte na kojoj se točka nalazi (Tablica 3).

Tablica 3. Procjena točke maksimalne brzine lopte bačene uvis
ovisno o masi i snazi hica

Točka maksimalne brzine (%)	Eksperimentalna situacija								Ukupno
	L	T	Lg	L-L	L-T	S	S-L	S-T	
U početnoj točki putanje – točka izbačaja	7.3	8.5	10.7	6.8	12.0	11.7	20.8	23.1	12.9
Na početnom dijelu putanje, neposredno iza točke izbačaja	22.0	19.2	19.6	25.0	28.0	20.0	20.7	26.9	22.6
Između početnog i središnjeg dijela putanje	34.1	38.3	28.6	29.6	34.0	33.3	24.5	17.3	29.8
Na središnjem dijelu putanje	24.4	19.1	28.6	27.3	16.0	16.7	26.4	21.2	22.3
Između središnjeg i krajnjeg dijela putanje	9.8	14.9	8.9	6.8	4.0	11.6	5.7	7.7	8.7
Na krajnjem dijelu putanje, neposredno prije točke zaustavljanja	2.4	0.0	3.6	4.5	6.0	6.7	1.9	3.8	3.7
<i>N</i>	42	47	56	45	49	60	53	52	404

Napomena: S – snažno baci loptu; L – baci laganu loptu; T – baci tešku loptu; Lg – lagano baci loptu; L-L – lagano baci laganu loptu; L-T – lagano baci tešku loptu; S-L – snažno baci laganu loptu; S-T – snažno baci tešku loptu.

Dobiven je nešto manji broj točnih odgovora nego u prvom eksperimentu: 13% ispitanika odgovorilo je točno da lopta ima maksimalnu brzinu u točki izbačaja, dok je oko 9% ispitanika odgovorilo da lopta kontinuirano usporava. Najčešći je odgovor na pitanje o ubrzanju lopte ponovo bio da ona prvo ubrzava, a potom usporava (71%). Dakle, i u drugom su eksperimentu potvrđeni nalazi o postojanju pogrešnog uvjerenja o brzini i ubrzanju objekata koji se kreću vertikalno uvis.

Tablica 4. *Distribucija odgovora ispitanika na pitanje o ubrzanju lopte bačene uvis ovisno o masi lopte i snazi hica*

Ponudeni odgovori (%)	Eksperimentalna situacija								Ukupno
	L	T	Lg	L-L	L-T	S	S-L	S-T	
Konstantna brzina pa ubrzava	0.0	2.1	0.0	4.5	4.0	1.7	1.9	5.8	2.5
Kontinuirano usporava	14.3	10.7	8.9	4.5	10.0	13.6	5.8	1.9	8.7
Ubrzava pa usporava	69.0	66.0	64.3	72.7	70.0	66.1	82.7	76.9	70.9
Konstantna brzina pa usporava	14.3	10.6	17.8	13.7	8.0	16.9	7.7	13.5	12.9
Usporava pa ubrzava	2.4	10.6	3.6	2.3	4.0	1.7	0.0	0.0	3.0
Kontinuirano ubrzava	0.0	0.0	5.4	2.3	4.0	0.0	1.9	1.9	2.0
Ukupno	42	47	56	45	50	59	52	52	403

Napomena: S – snažno baci loptu; L – baci laganu loptu; T – baci tešku loptu; Lg – laganu baci loptu; L-L – laganu baci laganu loptu; L-T – laganu baci tešku loptu; S-L – snažno baci laganu loptu; S-T – snažno baci tešku loptu.

Distribucija odgovora na pitanje o ubrzanju lopte (Tablica 4.) slična je distribuciji dobivenoj u prvom eksperimentu (Tablica 2.). Rezultati su Pearsonova χ^2 permutacijskog testa (Zeileis i sur., 2008) pokazali da procjena točke u kojoj lopta bačena uvis ima maksimalnu brzinu ne zavisi od eksperimentalne situacije, tj. ne zavisi od mase lopte i snage hica ($p=.549$). Također, ne postoje razlike između eksperimentalnih situacija i grupe iz prvog eksperimenta, kada je ispitanicima dan "neutralan" opis, u kojem nije spominjana masa i jačina bacanja ($p=.934$). Efekt mase i snage bacanja nije utvrđen ni u slučaju odgovora na pitanje o ubrzanju kretanja lopte ($p=.257$).

Dobiveni rezultati upućuju na to da informacije o masi objekta i snazi kojom se lopta baca nisu imale utjecaja na procjenu ispitanika o poziciji na putanji u kojoj lopta dostiže maksimalnu brzinu ni na procjenu njezina ubrzanja. Izostanak očekivanih rezultata variranja upotrijebljene snage bacača i mase bačene lopte može se razmatrati u kontekstu PANO (White 2012a, 2012b) i HPO (White, 2009). Konkretno, nepostojanje se razlika može objasniti time da ispitanici nisu smatrali masu i upotrijebljenu snagu bitnim odlikama uzročnog događaja kretanja u danoj situaciji. S obzirom na rezultate istraživanja u kojima su ove karakteristike bile salijentne (Kozhevnikov i Hegarty, 2001; Proffitt i Gilden, 1989; Rohrer, 2002), postavlja se pitanje je li zaključivanje o brzini kretanja posljedica toga što su te karakteristike stvarni dio pohranjenih reprezentacija ili je artifičijelni rezultat načina na koji je zadatak postavljen. S jedne strane, moguće je da informacije u opisu

zadatka o snazi hica i masi jedne lopte bačene vertikalno uvis nisu bile dovoljno jaki kontekstualni znakovi da pobude postojeće pohranjene reprezentacije ispitanika o sličnim događajima u kojima su sudjelovali, za razliku od zadatka s više informacija, uključujući i usporedbu u okviru istoga verbalnog opisa mase dviju lopti s precizno navedenim omjerom između njih (Kozhevnikov i Hegarty, 2001). S druge pak strane, s obzirom na to da su situacije u kojima možemo izravno uspoređivati kretanje dvaju objekata iskustveno dosta rjeđe, ne može se isključiti ni mogućnost da ispitanici ne raspolazu reprezentacijama takvog kretanja, ali da ih način postavljanja zadatka (kao u slučaju usporedbe dvaju objekata; Kozhevnikov i Hegarty, 2001) može navesti da prilikom konstrukcije rješenja uzmu u obzir karakteristike (kao što je masa), koje inače ne smatraju relevantnima u situacijama kada izvode zaključak o kretanju samo jednog objekta.

Završna rasprava

"Zdravorazumsko" je shvaćanje fizičkih zakona svijeta u kojem živimo već dugo predmet znanstvenog interesa. Predmet su ispitivanja predstavljale i različite karakteristike kretanja, među kojima i brzina i ubrzanje objekata. Ipak, do sada nisu istraženi faktori koji utječu na zaključivanje o brzini i ubrzanju u slučaju objekata bačenih vertikalno uvis (vidi u White, 2012b). Zbog toga smo provjerili kakva implicitna znanja, tj. znanja stečena kroz osobno iskustvo u vezi s kretanjem objekata (Buteler i Coleoni, 2014; Sherin, 2006), posjedujemo kada je riječ o vertikalnom hicu.

Utvrđeno je da najveći broj ispitanika pogrešno predviđa da će lopta maksimalnu brzinu dostići, u prosjeku, nešto prije polovice prijedene putanje te da će ubrzati nakon što bude bačena uvis. Ovi su nalazi u skladu s nalazima dobivenim u slučaju horizontalnog hica (Hecht i Bertamini, 2000) i govore u prilog PANO (White, 2012a, 2012b) i koncepta HPO (White, 2009), dok su, s druge strane, izvan dosega objašnjenja TI (McCloskey, 1983). Međutim, PANO i HPO (White, 2009, 2012a, 2012b), iako pogodniji za objašnjenje dobivenih rezultata, nisu bez nedostataka, jer ne pružaju mogućnost predviđanja koje bi karakteristike uzroka kretanja, u različitim situacijama, mogle biti salijentne za zaključivanje. Zbog toga se javlja svojevrsna cirkularnost u objašnjenju jer jedino možemo pretpostaviti da će se neke značajke situacije prenijeti na objekt, a tek na temelju prirode samih grešaka u danoj situaciji zaključiti koje su to značajke. Tako bi, u ovom slučaju, relevantna značajka uzroka kretanja bila ubrzanje ruke, a zaključak o tome da je ona relevantna izvodi se na temelju toga što smo prethodno ustanovili da većina ispitanika smatra da lopta ubrzava nakon što je izbačena iz ruke.

U drugom se eksperimentu ni snaga bacanja ni masa bačene lopte nisu pokazale kao istaknute značajke za donošenje zaključka o kretanju objekata bačenih vertikalno uvis. Ovakvi nalazi nisu u skladu s nekim dosadašnjim rezultatima, kada su ispitanici

uzimali u obzir masu objekta pri zaključivanju o vertikalnom hicu (Kozhevnikov i Hegarty, 2001) ili činili grešku "otpor – brzina" (Rohrer, 2002). Moguće je da su opisi zadataka u spomenutim istraživanjima (Kozhevnikov i Hegarty, 2001; Rohrer, 2002) stvorili kontekst koji je ispitanike naveo da odgovore na određen način. Objašnjenje koje zavisi od konteksta odgovaranja zagovaraju brojni autori (Cooke i Breedin, 1994; DiSessa i sur., 2004; Kaiser i sur., 1986; Ranney, 1994). Među njima su autori koji smatraju da ispitanici, u trenutku odgovaranja, konstruiraju svoja objašnjenja i da se u odgovorima ne mogu pronaći dokazi za bilo kakve koherentne NT ili druge internalizirane principe kojima se koristimo pri donošenju zaključaka (Cooke i Breedin, 1994). S druge strane, naglašavanju važnosti konteksta naklonjeni su i autori koji zauzimaju konzervativniji pristup i ne isključuju mogućnost da postoje NT, ali smatraju da njihovo uzimanje u obzir prilikom odgovaranja ovisi od situacijskih faktora (DiSessa i sur., 2004; Kaiser i sur., 1986; Ranney, 1994). Međutim, bez obzira na ove razlike i jedni i drugi tvrde da na odgovore ispitanika utječu različite vrste informacija koje su im dostupne u danom trenutku. Znanje koje ispitanici posjeduju i eventualni, zdravorazumski, naivni koncepti mogu se, ali i ne moraju, aktivirati pod utjecajem danih informacija (DiSessa i sur., 2004; Kaiser i sur., 1986; Ranney, 1994). Iako pristalice objašnjenja na temelju utjecaja kontekstualnih faktora opravdano upućuju na ovakvu mogućnost, pristup koji bi se oslanjao samo na vanjske informacije ne čini se dovoljno snažnim objašnjenjem za visoku konzistentnost grešaka, uključujući i visoku dosljednost u postotku pogrešnih odgovora i vrstama grešaka dobivenim u ovom istraživanju, a koje se odnose na kretanje objekata bačenih vertikalno uvis.

Evidentno je da se naše intuitivno znanje o kretanju objekata bačenih vertikalno uvis ne može objasniti isključivo uz pomoć PANO i HPO (White, 2009, 2012a, 2012b). Konzistentnost se u pogrešnim odgovorima ispitanika u značajnoj mjeri može objasniti pomoću HPO (White, 2009), koja je plauzibilno objašnjenje za odgovore u kojima se javlja uvjerenje o inicijalnom ubrzanju. Ipak, neophodno je uzeti u obzir i karakteristike specifične situacije u kojoj se problem kretanja rješava, kako bi se utvrdilo koje su to dimenzije situacije koje utječu na odgovor ispitanika, zajednički djelujući s unutrašnjim faktorima – mentalnim reprezentacijama i načinom njihova uspoređivanja s vanjskim podražajima. Postavljaju se i pitanja o uvjetima koje moraju zadovoljiti kontekstualni faktori da bi bili relevantan faktor u zaključivanju o kretanju, načinu skladištenja iskustvenih informacija (na primjer, postoje li prioriteta u redoslijedu kojim se pohranjuju kinestetičke, vizualne i druge informacije), ali i samom procesu uspoređivanja ulaznog podražaja i pohranjenih reprezentacija. Pri tome ne treba zaboraviti da se kretanje odvija u vanjskom svijetu koji ima svoje zakonitosti, koje predstavljaju temelj za formiranje mentalnog modela kretanja čije karakteristike primarno ispituje.

Literatura

- Buteler, L.M. i Coleoni, E.A. (2014). Exploring the relation between intuitive physics knowledge and equations during problem solving. *Electronic Journal of Science Education*, 18(2), 1-20.
- Caramazza, A., McCloskey, M. i Green, B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9(2), 117-123. doi:10.1016/0010-0277(81)90007-x
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Cooke, N.J. i Breedin, S.D. (1994). Constructing naive theories of motion on the fly. *Memory & Cognition*, 22(4), 474-493. doi: <http://dx.doi.org/10.3758/BF03200871>
- DiSessa, A.A., Gillespie, N.M. i Esterly, J.B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843-900. doi:10.1016/j.cogsci.2004.05.003
- Hecht, H. i Bertamini, M. (2000). Understanding projectile acceleration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(2), 730-746. doi:10.1037//0096-1523.26.2.730
- Kabacoff, R.I. (2011). *R in action: Data analysis and graphics with R*. NY, Shelter Island: Manning Publications Co.
- Kaiser, M.K., Jonides, J. i Alexander, J. (1986). Intuitive reasoning about abstract and familiar physics problems. *Memory & Cognition*, 14(4), 308-312. doi:10.3758/BF03202508
- Kozhevnikov, M. i Hegarty, M. (2001). Impetus beliefs as default heuristics: Dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(3), 439-453. doi:10.3758/BF03196179
- Leiser, D. (2001). Scattered naive theories: Why the human mind is isomorphic to the internet web. *New Ideas in Psychology*, 19(3), 175-202.
- McCloskey, M. (1983a). Naive theories of motion. U: D. Gentner i A.L. Stevens (Ur.), *Mental models* (pp. 299-324). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Proffitt, D.R. i Gilden, D.L. (1989). Understanding natural dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(2), 384-393. doi:10.1037//0096-1523.15.2.384
- R Development Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: Foundation for Statistical Computing. Preuzeto s <http://www.r-project.org>
- Ranney, M. (1994). Relative consistency and subjects' "theories" in domains such as naive physics: Common research difficulties illustrated by Cooke and Breedin. *Memory & Cognition*, 22(4), 494-502. doi:10.3758/BF03200872
- Rohrer, D. (2002). Misconceptions about incline speed for nonlinear slopes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(4), 963-973. doi:10.1037//0096-1523.28.4.963

- Sherin, B. (2006). Common sense clarified: The role of intuitive knowledge in physics problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(6), 535-555. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20136>
- Trowbridge, D.E. i McDermott, L.C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48(12), 1020-1028. doi:10.1119/1.12298
- Whitaker, R.J. (1983). Aristotle is not dead: Student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51(4), 352-357. doi:10.1119/1.13247
- White, B.Y. (1983). Sources of difficulty in understanding newtonian dynamics. *Cognitive Science*, 7(1), 41-65. doi:10.1016/S0364-0213(83)80017-2
- White, P.A. (2009). Property transmission: An explanatory account of the role of similarity information in causal inference. *Psychological Bulletin*, 135(5), 774-793. doi:10.1037/a0016970
- White, P.A. (2012a). The experience of force: The role of haptic experience of forces in visual perception of object motion and interactions, mental simulation, and motion-related judgments. *Psychological Bulletin*, 138(4), 589-615. doi:10.1037/a0025587
- White, P.A. (2012b). The impetus theory in judgments about object motion: A new perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(6), 1007-1028. doi:10.3758/s13423-012-0302-2
- Zeileis, A., Wiel, M.A., Hornik, K. i Hothorn, T. (2008). Implementing a class of permutation tests: The coin package. *Journal of Statistical Software*, 28(8), 1-23.

Intuitive Mechanics: Inferences of Vertical Projectile Motion

Abstract

Our intuitive knowledge of physics mechanics, i.e. knowledge defined through personal experience about velocity, acceleration, motion causes, etc., is often wrong. This research examined whether similar misconceptions occur systematically in the case of vertical projectiles launched upwards. The first experiment examined inferences of velocity and acceleration of the ball moving vertically upwards, while the second experiment examined whether the mass of the thrown ball and force of the throw have an impact on the inference. The results showed that more than three quarters of the participants wrongly assumed that maximum velocity and peak acceleration did not occur at the initial launch of the projectile. There was no effect of object mass or effect of the force of the throw on the inference relating to the velocity and acceleration of the ball. The results exceed the explanatory reach of the impetus theory, most commonly used to explain the naive understanding of the mechanics of object motion. This research supports that the actions on objects approach and the property transmission heuristics may more aptly explain the dissidence between perceived and actual implications in projectile motion.

Keywords: vertical projectile motion, impetus theory, actions on objects approach, property transmission heuristics

Mecánica intuitiva: Conclusiones sobre el tiro vertical hacia arriba

Resumen

Nuestro conocimiento intuitivo sobre la mecánica, o sea, el conocimiento adquirido a través de la experiencia personal con la velocidad, aceleración, causas del movimiento etc., a menudo es equivocado. En esta investigación se ha comprobado si estas equivocaciones se manifiestan sistemáticamente en el caso del tiro vertical hacia arriba. En el primer experimento se comprobaron conclusiones sobre el peso y la aceleración del balón tirado hacia arriba, y en el segundo si el peso del balón tirado y la fuerza del tiro influían en estas conclusiones. Más de tres cuartos de los examinados considera erróneamente que el balón no llega a la velocidad máxima en el punto inicial y que su velocidad aumenta después de ser tirada hacia arriba. No se ha conseguido el efecto del peso de balón ni el de la fuerza de tiro sobre las conclusiones sobre la velocidad y la aceleración del movimiento del balón. Estos resultados salen del marco de la teoría de impetu, la teoría más usada para explicar la comprensión ingenua de la dinámica del movimiento de objetos. En el trabajo se han considerado las causas por las cuales el enfoque de acción sobre objetos y la heurística de la transmisión de características representan un marco más perspectivo para explicar resultados.

Palabras claves: tiro vertical hacia arriba, teoría de impetu, enfoque de acción sobre objetos, heurística de la transmisión de características

Primljeno: 27.04.2015.

Uputa za prvi zadatak i *stick*-crtež

Zamislite situaciju u kojoj osoba loptu baci vertikalno uvis, kao što je prikazano na crtežu ispod teksta. Označite horizontalnu liniju na putanji lopte u kojoj smatrate da je lopta dostigla najveću brzinu.

Slika 1. *Stick*-crtež figure

