

ZNAJSTVENA METODA

dr. sc. Dario Hrupec

Školski udžbenici, rječnici i enciklopedije određuju astronomiju kao znanost. Fiziku, kemiju i biologiju također opisuju kao prirodne znanosti. I to je u redu. No, problem je što samu definiciju znanosti najčešće ne navode ili ju pak iznose vrlo nepotpuno. U ovogodišnjem ciklusu članaka, "Astronomija je znanost", nastojim popuniti tu prazninu. U prethodnom članku, "Što je uopće znanost?", pokušao sam definirati znanost i pokazati kako se ona razlikuje od drugih sustava znanja, naročito od onih koji se lažno predstavljaju kao znanost. U ovom članku objašnjavam kako znanstvenici izgrađuju dosljedan i pouzdan sustav znanja o svijetu. Drugim riječima, govorim o znanstvenoj metodi.

Što je znanstvena metoda

Kao prvo, znanstvena metoda nije jedinstveni, univerzalni postupak koji bismo uvijek i na isti način mogli primijeniti u svakom pojedinom znanstvenom istraživanju. Radi se o cijelom skupu postupaka koje valja prilagoditi specifičnim slučajevima u raznim područjima prirodnih znanosti. No, postoje zajedničke karakteristike koje se mogu lako opisati i razumjeti. Štoviše, mogu se primijeniti i izvan područja znanstvenog istraživanja, konkretno u svakodnevnom životu za razvoj kritičkog mišljenja pojedinca.

Općenito govoreći, **znanstvena metoda je skup postupaka za istraživanje prirodnih pojava i prikupljanje novih znanja te za ispravljanje i povezivanje prethodnih znanja.** Ti postupci uključuju, između ostalog, sustavna opažanja i mjerenja te formuliranja, testiranja i modificiranja hipoteza. Već iz ovog sažetog opisa znanstvene metode vidljivo je da se znanost odnosi na stvarni svijet, odnosno na ono što objektivno postoji, a ne na imaginarne svjetove ili naše subjektivne doživljaje stvarnosti.

Opažanjima i mjerenjima prikupljamo činjenice koje su, u načelu, dostupne svima. Te činjenice ili fakti su mali fragmenti znanja, podaci na temelju kojih možemo formulirati hipoteze. Naravno, pri oblikovanju hipoteza ili pretpostavki služimo se i prethodnim znanjima. Kad bismo uvijek polazili samo od golih mjernih podataka znanost bi napredovala vrlo, vrlo sporo. No, želim ovdje naglasiti da činjenice dolaze iz prirode. To je prva poveznica s prirodom. Hipoteze su ideje kojima nastojimo povezati i objasniti činjenice. One dolaze iz naše mašte, no imaju jedno važno ograničenje – moraju biti provjerljive, moraju se moći testirati. Testiranje odnosno provođenje eksperimenta ili opažanja je, grubo govoreći, postupak kojim prirodu pitamo što misli o našoj ideji. To je druga, možda najvažnija, poveznica s prirodom. Ako se priroda ne slaže s našm hipotezom moramo ju odbaciti ili pak preoblikovati i ponovo testirati. Konačno, kad eksperiment potvrdi pretpostavku tada smo stekli novi djelić znanstvenog znanja. Pretpostavka tada prerasta u model ili teoriju. No, taj postupak nikad nije gotov. Sva su znanstvena znanja privremena, uvijek podložna preispitivanju i preoblikovanju. I za teoriju postoji važan zahtjev: ona mora biti prediktibilna što znači da mora predvidjeti rezultat nekog budućeg eksperimenta. To predviđanje budućih opažanja je treća važna poveznica s prirodom odnosno sa stvarnim svijetom.

Znanost, dakle, podrazumijeva da postoji objektivna stvarnost. Znanstvena se znanja oblikuju i neprekidno usklađuju s tom stvarnošću. Znanstvenici se nikad ne pozivaju na autoritete, stare spise ili subjektivne doživljaje. Oni se pozivaju isključivo na prirodu, na stvarni svijet. I to je glavna karakteristika po kojoj se znanstvena metoda razlikuje od svih ostalih metoda prikupljanja znanja.

Povijesni razvoj znanstvene metode

Znanstvena metoda, kakvu danas poznajemo, polako se formirala kroz dugi niz godina. U davno predznanstveno doba, prije nekih 4000 godina, stari su Egipćani već počeli koristiti empirijske metode u astronomiji, matematici i medicini. Empirija je, inače, spoznaja stečena zapažanjem. Dakle, to je znanje koje je proizašlo iz opažanja prirodnih pojava, ne iz čistog promišljanja (kako nastaju neke filozofske ideje) niti iz mitova i starih spisa (kako nastaju teološke ideje). Taj empirijski pristup ostao je svojstven znanosti sve do današnjih dana.

U 6. stoljeću prije nove ere, starogrčki filozof **Tales** tvrdio je da svaka prirodna pojava ima i svoj prirodni uzrok. On je odbio prihvatiti mitološka, religiozna (općenito govoreći natprirodna) objašnjenja prirodnih pojava. Takav je stav, također, temeljni dio današnjeg znanstvenog pristupa.

Važan korak prema znanstvenoj metodi načinio je **Platon** uvođenjem dedukcije – logičkog zaključivanja u kojem se iz općih sudova izvode pojedinačni. **Aristotel** je pak smatrao da se do općih istina može doći indukcijom - logičkim zaključivanjem u kojem se iz pojedinačnih sudova izvode opći. Aristotel je također formalizirao empirijski pristup koji su bili uveli stari Egipćani.

Eksperiment kao provjera valjanosti ideja, ključan je dio znanstvene metode. Postoje naznake da su neke eksperimentalne postupke koristili već stari Grci. No, prvi koji je sustavno koristio eksperiment kao dio znanstvene metode bio je arapski učenjak Ibn al-Haytham (poznat i kao **Alhazen**). Alhazen je živio u 10. stoljeću, u zlatnom dobu islama, a provodio je eksperimente iz optike i fiziologije. Prvi je ukazao na važnost postavljanja hipoteze i njezinog testiranja. Taj je pristup kasnije preuzeo i zagovarao **Galileo Galilei**. S obzirom da je Galilei bio daleko poznatiji i utjecajniiji (naročito na Zapadu), obično uz njegovo ime većemo začetak ideje nezaobilaznosti eksperimenta u fizici.

Tek u 17. i 18. stoljeću znanstvena je metoda poprimila svoj suvremeni oblik. Upravo se tada zbivao prijelaz iz predznanstvenog u znanstveno doba. Istaknutu ulogu u tom dijelu razvoja znanstvene metode odigrali su **Franics Bacon** i **René Descartes**. Bacon je 1620. godine objavio *Novum organum scientiarum* (*Novi kanon znanosti*), knjigu u kojoj je razradio novi sustav logičkog zaključivanja. Nešto kasnije, 1637. godine, izašla je knjiga *Discourse on Method* (*Rasprava o metodi*) u kojoj je Descartes razradio osnovnu zamisao znanstvene metode.

Konačno, danas se znanstvena metoda uglavnom temelji na hipotetsko-deduktivnom modelu koji je oblikovan u 20. stoljeću. Naziv modela potječe od **Williamia Whewella**, engleskog filozofa koji je također skovao nazive: znanstvenik i fizičar.

Tipični koraci znanstvene metode

Prema hipotetsko-deduktivnom modelu, znanstveno istraživanje počinje postavljanjem hipoteze koju je moguće uvjerljivo *falsificirati* na temelju eksperimentalnih podataka. U svakodnevnom govoru falsifikacija obično znači krivotvorenje, no u ovom kontekstu falsifikacija je postupak kojim se pokazuje da je neka tvrdnja lažna.

Ako eksperimentalna provjera pokaže da su predviđanja hipoteze pogrešna tada se eksperiment smatra falsifikacijom hipoteze. Hipotezu tada valja odbaciti ili pak modificirati te osmisliti i provesti novi eksperiment. Ako su eksperimentalni rezultati u skladu s predviđanjima hipoteze tada se eksperiment smatra *potvrdom* hipoteze odnosno jednom *potvrdom* teorije u okviru koje je postavljena hipoteza. Dakle, ne dokazom, nego samo jednom od potvrda.

Valja naglasiti da znanstvena metoda nikad ne daje, niti može dati apsolutni dokaz ili krajnju potvrdu istine. Svaka nova hipoteza, iznesena u sklopu jedne teorije, koja nije falsificirana eksperimentom samo dodatno potvrđuje teoriju. Stoga teorija može biti samo više ili manje potvrđena, a nikad dokazana. S druge strane, samo jedna jedina falsifikacija hipoteze dovoljna je da nepovratno obori teoriju. U svjetlu hipotetsko-deduktivnog modela lako je razumijeti tvrdnju **Alberta Einsteina**: "Ni neizmjeran broj eksperimenata ne može dokazati da sam u pravu; samo jedan eksperiment može dokazati da sam u krivu."

Postavljanje hipoteze i njezino testiranje ključni su dijelovi znanstvene metode, ali nisu jedini. Približni opis cijelog postupka kojim se u znanosti dolazi do znanja može se opisati u ovih osam koraka:

1. Postavljanje pitanja. Premda zvuči trivijalno, ovaj prvi korak je jako važan. Kao što kaže poslovice, dobro postavljeno pitanje je pola odgovora. Na temelju svih prethodnih znanja i iskustava znanstvenik bi trebao odabrati pitanje na koje je uopće moguće dati odgovor (primjerice, u okviru tehničkih mogućnosti za provedbu eksperimenta) i čiji će odgovor najbolje rasvijetliti pojavu koja se istražuje. Loše postavljeno pitanje može odvesti na krivi put i rezultirati uzaludnim trošenjem vremena i energije. Znanstveno istraživanje se, u ovom segmentu, može usporediti s kriminalističkom istragom. Ako ste čitali Doyleove priče o Sherlocku Holmesu onda vam je jasna važnost postavljanja pravog pitanja odmah na početku istrage. Detektiv Holmes ga, doduše, gotovo nikad ne izriče javno, ali ga postavlja za sebe. To prvo pitanje, koje ga brzo i učinkovito vodi do konačnog rješenja, zapravo je ključ njegova uspjeha.

2. Prikupljanje informacija. Da bismo na početno pitanje eventualno mogli odgovoriti potrebne su nam dodatne informacije ili podaci. Prikupljanje tih podataka u prirodnim znanostima odgovara opažanju, a sami podaci odgovaraju činjenicama. U analogiji s detektivskim istraživanjem ovaj korak odgovara traženju tragova. Sherlock Holmes, primjerice, ne prikuplja sustavno sve informacije do kojih bi mogao doći, niti traži nasumce. On uvijek traži točno one informacije koje mu trebaju za odgovor na početno pitanje.

3. Postavljanje hipoteze. Sada je teren spreman za postavljanje hipoteze ili pretpostavke. Još jednom,

to su zamišljene, ali provjerljive, spekulacije koje bi mogle objasniti prikupljene činjenice. Ako hipoteza nije provjerljiva, ona je potpuno beskorisna. Važno je također reći da svi mi, u svakodnevnom životu, koristimo barem neke od ovih elemenata znanstvene metode. Većina zabluda i krivih zaključaka dolazi upravo zato što mnogi ljudi na ovom koraku stanu. Proglase, svjesno ili nesvjesno, hipotezu konačnom istinom te se ne upuštaju u njezino provjeravanje.

4. Provjeravanje hipoteze. Ovo je definitivno ključni korak koji u znanosti odgovara provođenju eksperimenta. Naravno, prije samog provođenja eksperiment treba pažljivo osmisliti (fizičari vole reći dizajnirati). Također treba izraditi aparaturu što ponekad znači gradnju potpuno nove vrste instrumenta. Također, aparaturu treba vrlo precizno ispitati da bismo znali radi li točno onako kako smo zamislili. Za velike eksperimente, poput LHC-a u CERN-u, od početka dizajna do kraja ispitivanja može proći par desetaka godina.

5. Analiziranje podataka. Nadalje, podatke koje smo dobili u eksperimentu valja analizirati. I to je, također, složen i ponekad dugotrajan posao. Danas znanstvenici često pišu vlastiti softver koji im pomaže da učinkovitije analiziraju veliku količinu podataka. Mnoštvo sirovih podataka, koje daje instrument, treba svesti na sažete i vrlo specifične podatke koji omogućavaju donošenje zaključka.

6. Izvođenje zaključka. Konačno, iz rezultata analize možemo vidjeti je li eksperiment potvrdio hipotezu ili ju je falsificirao (pokazao da nije istinita). Ako je hipoteza falsificirana, što i jest najčešći slučaj, tada se moramo vratiti na korak 3 te formulirati novu hipotezu ili eventualno modificirati postojeću. Put do novih znanja nije lagan niti linearan. Znanstvenici često griješe, ali se i korigiraju. Iz te sposobnosti samokorigiranja proizlazi najveća snaga znanosti.

7. Objavljivanje rezultata. I to nije sve. Znanstvene rezultate valja objaviti. Za tu svrhu postoje znanstveni časopisi i konferencije. Bez objavljivanja rezultata nema znanosti.

8. Ponovno testiranje. Na kraju, znanost je posao koji nikad ne završava. Istu hipotezu treba testirati ponovo i ponovo. To najčešće rade drugi znanstvenici zato da bi provjerili valjanost instrumenta, opažanja i analize. Osim toga, stalni razvoj tehnologije omogućava izgradnju novih instrumenata kojima se mogu prikupiti podaci koji dotad nisu bili dostupni. U svjetlu tih novih podataka hipoteza koja je bila potvrđena sada može biti falsificirana.

Konačno, ni sama znanstvena metoda nije vječna i nepromjenjiva. I ona se s vremenom razvija. Možda će jednog dana biti prilično različita od metode koju koristimo danas. No, ta metoda koju danas imamo je trenutno najbolja metoda koju je čovječanstvo ikad imalo za spoznavanje prirode.