

Teorija razvoja znanosti – zlom fizikalnih paradigem

dr. STANISLAV JUŽNIČ

Fara 2, SI-1336 Vas

IZVLEČEK

Obravnaval sem zlom; drugo od petih stopenj razvoja fizikalnih paradigem. Omejil sem se predvsem na razvoj raziskovanja toplote. Dogajanje sem preučeval na več ravneh, upoštevajoč tudi manj pomembne objave. Opisal sem splošne zakonitosti zlomov fizikalnih paradigem. Ugotovil sem, da imajo imajo najdaljša univerzalna stanja tiste paradigme, katerih zloma ne povzroči nekompetentnost, temveč potreba po širjenju v nova področja. Raziskal sem podobnosti med univerzalnim stanjem stare in rastjo nove paradigme v času in prostoru glede na zveze med njunima univerzalnima raziskovalnima metodama.

Ključne besede: Kuhn, znanstvene revolucije, znanstvene paradigme, zgodovina fizike, Toynbee

ABSTRACT

THE THEORY OF SCIENCE DEVELOPMENT – THE BREAKDOWNS OF PARADIGMS IN PHYSICS

The article deals with breakdowns; the second of the five stages of the development of paradigms in physics. We limited ourselves mostly on the research about heat. We researched all levels of the development, considering also less important publications. We described general characteristic of physical paradigms. We find that the paradigms whose breakdowns were not caused by incompetence, but by the need of spreading into the new areas of research, developed the longest universal states. We researched the similarities between the universal state of the old and the growth of the new paradigm in relation to their universal research methods.

Key words: Kuhn, scientific revolutions, scientific paradigms, history of physics, Toynbee

1) UVOD

Zlom je zelo kratek in pomemben del razvoja fizikalne paradigme. Je obdobje s katerim se konča rast do tedaj napredne smeri znanstvenega raziskovanja.

Le redki znanstveniki raziskujejo samo med zlomom ali samo med revolucijo. Prav ti dve stanji sta med vsemi najkrajši. Zlom je predvsem mejnik med obdobjem rasti paradigme in poznejšim zaostajanjem njenih raziskovalnih dosežkov.

2) DEFINICIJA ZLOMA

Zlom¹ nastopi med maksimumom rasti znanstvenega raziskovanja, ko odvod rasti spremeni predznak. Vendar rast ni povsem nedvoumen pojem. Zato je med petimi stanji paradigme najtežje določiti prav raziskovalna dela, ki povzročijo zlom. Pri nekaterih paradigmah ni mogoče določiti problema, ob katerem se notranje zlomijo. Pri drugih je dogajanje med zlomom močno podobno krizi.

Zloma ni mogoče določiti iz vsote celotnega razvoja raziskovalnih prispevkov panoge, v katerem se prekrivajo prispevki posameznih paradig. Opazimo ga le, če prispevek posamezne paradigme ločimo od ostalih.

Raziskovalno delo teoretikov, eksperimentatorjev in tehnologov v posamezni paradigmi se ne zlomi sočasno. Zato je zlom pri vsoti vseh treh raziskovalnih prispevkov raztegnjen na daljše časovno obdobje. Pri nekaterih paradigmah opazimo zlom le pri teoretiškem raziskovalnem delu.

Po zlomu postane kreativna manjšina raziskovalcev univerzalna dominantna manjšina, ki med univerzalnim stanjem obdrži vzvode znanstvenega raziskovanja, predvsem akademske položaje, šolstvo in financiranje. Vendar raziskovalci iz dominantne manjšine ne objavljajo več samostojnih novih idej za zapolnjevanje vrzeli, ki jih ustvarjajo izzivi novih odkritij. Večina raziskovalcev zato noče več slediti dominantni manjšini. S tem je konec enotnosti, ki jo je dotlej narekoval izobraževalni sistem.

Zlom povzroči neenotnost med raziskovalci določene paradigme. Omogoči posploševanje dotedanjih odkritij, kar pelje v univerzalno stanje. Po zlomu znanstveniki opisujejo nove pojave v mejnih področjih svoje fizikalne panoge le z nekaterimi modeli, ki so jih razvili za opis narave. Prehod v univerzalno stanje ne spremlja globlje pomenenje dotlej nepovezanih pojavov. Posamezna območja univerzalne paradigme povezujejo predvsem zunanje oblike, denimo enoten matematični opis pojavov. Na takšen način se sta se povezali prevajanje toplote (T1u) in teorija elastičnosti (Lamé, 1861). Celotna fizika z izjemo gravitacije je povezana v Maxwellovi teoriji polja (EM3u). Prav tako vso fiziko povezuje tudi zakon o ohranitvi energije, razvit že med rastjo T2.²

Raziskovalci ne opustijo starega načina raziskovanja zaradi boljšega novega, temveč zato, ker v starem načinu ne najdejo več navdiha za nadaljnje delo. Vpliv drugačnih idej iz sorodnih panog znanosti pogosto pripomore k zlomu. Zlom je dogodek znotraj paradigme, ki se ne more več ustvarjalno odzvati na teoretiške in eksperimentalne

¹ Smutnoe vremena, time of troubles.

² Fizikalne paradigme so: antična mehanika (M1), Newtonova, pozneje analitična mehanika (M2), Newtonova korpuskularna optika (S1), transverzalna valovna optika s teorijo polja (S2), elektrostatika (EM1), elektrodinamika (EM2), elektromagnetizem s teorijo polja (EM3), Blackova in Laplaceova teorija toplote s Fourierovo teorijo prevajanja (T1), mehanična teorija toplote s kinetično teorijo molekul (T2) ter statistična in kvantna mehanika (T3), ki s teorijo relativnosti vpliva na razvoj M3, S3 in EM4. V vsaki paradigmi si sledijo: *rast*, *zlom*, *univerzalnost*, *kriza* in *prevrat* ali *revolucija*.

izzive novih odkritij. Zlom povzročijo predvsem rezultati novih poskusov, ki so kot novo vino v sodih stare teorije (Wells, 1921).

3) POSLEDICE ZLOMA

Samoobvladovanje in urejenost paradigme se med zlomom prevesi v razpad (dez-integracijo) zaradi:

1) Posnemanja (mimeze) dotedanje ustvarjalne manjšine, ki je degenerirala v dominantno manjšino. Povzemanje zastarelih raziskovalnih vzorcev in enačb ne pelje k napredku. Nova kreativna manjšina bo odprla nove poti le v drugačni paradigmi.

2) Neprilagodljive institucije razvite skupaj s staro paradigmo se ne morejo več odzvati novim eksperimentalnim in teorijskim izzivom. S šolskimi učnimi načrti in z zastarelimi merili za izbiranje del vrednih objave ovirajo napredek novega načina raziskovanja.

3) Dominantna manjšina ni več ustvarjalna, saj se po zlomu ne zna več odzvati izzivom novih odkritij. Nekdanja ustvarjalna manjšina se lahko degeneraciji izogne samo po ozki brvi pomladitve.

Usihanje ustvarjalnosti dominantne manjšine pasivno in aktivno ovira rast paradigme. Pasivno oviranje povzročajo raziskovalci s povečevanjem svojih dosežkov in zmožnosti, institucij (akademij, univerz, laboratorijev, znanstvenih časopisov) ali pa raziskovalne metode lastne šole.

Dominantna manjšina aktivno ovira rast v treh zaporednih stopnjah. Opoju ob zmogoslavju nad staro paradigmo po revoluciji sledi izguba vpogleda v fizikalno realnost in končno poskus predstavitve lastne paradigme kot večno veljavne in vseobsežne.

Usihanje ustvarjalnosti je osnovni povod za zlom paradigme. Nekatere ustvarjalne manjšine so se zlomu začasno izognile z idejno pomladitvijo in prepородom:

Doba	Prvotni kreativni odziv (kriza, revolucija)	Poznejši kreativni odziv (duhovni prepород)	Neuspešen odziv (zlom)	Stanje paradigme
1500	Poskusi in matematika proti metafiziki		Prodor v zahodno Evropo	M1z, M1u
1730		Descartesova filozofija		M2r
1738		Bernoullijeva hidrodinamika		M2r
1700-1788		Spor glede oblike Zemlje, ³ uporaba analitične teorije v astronomiji	Infinitezimalni račun kot univerzalna metoda	M2r, M2z
1895-1905	Elektromagnetno polje			M2k
1667	Teorija barv (sipanja)			S1g delčna optika
1752			Akromatski teleskop	S1z

³ Oblatum sive obongum.

1800, 1810	Interferenca, polarizacija			S1k valovna transverzalna optika
1800		Optična teorija infrardečega in ultravijoličnega sevanja		S2r
1830		Gaussova geometrijska optika		S2r
1850-1873	Vpliv elektromagnetizma		Modeli etra	S2z
1905-1926	Hitrost svetlobe je največja, dualizem val-delec		Vplivi elektromagnetizma	S3r relativnost, kvantna mehanika
1500-	Preučevanje kompasa			EM1g magnetizem
17.-18. stoletje			Vpliv elektrostatičnosti	EM1z
1750	Franklinova teorija Leydenske steklenice	Podobnost med iskro in bliskom		EMg elektrostatičnost
1788			Teža kot model za vse sile	EM1z, EM1u
1789-1800	živalska elektrika, Voltova baterija			EM1k
1810		Električna narava kemijskih sil	Potek elektrolize	EM2z elektrodinamika
1819	Oerstedov eksperiment			EM2k
1834		Magnet vpliva na elektriko, elektromagnetna tehnologija		EM3r elektromagnetizem
1840-			Sila deluje samo preko sosednjih delcev snovi	EM3z
1897-1905	Enakost hitrosti svetlobe in elektrike, atomi elektrike			EM3k
1924		Rdeči premik (red shift)		EM4r relativnost
1934		Kvantna elektrodinamika		EM4r kvantna
1950-			Množica osnovnih delcev	EM4z
1798-1820	Raziskovanje toplote ločeno od kemije	Opustitev flogistonske teorije gorenja		T1g teorija kalorika
1800-1811			Kritike kalorika	T1z

1842-1848	Metafizična analiza zakona o ohranitvi energije			T1k, T1p
1824-1850		Delovanje parnega stroja		T2r
1842-1864			Atomi v kinetični teoriji	T2z, T2u
1864-1872	Neuspeh mehaničnih modelov entropije	Fazni prehodi realnih plinov		T2k
1895			Analiza poskusov s spektri plinov	T3z

Preporodi se večinoma zgodijo med rastjo in podaljšajo trajanje nadpovprečne rasti paradigme:

Paradigma	Število preporodov med rastjo	Trajanje nadpovprečne rasti (v letih)	Vrstni red med stanji paradigme glede na dolžino rasti
M2	5	100	1
S1	0	16	5
S2	2	46	3
EM1	1	12	7
EM2	1	4	9
EM3	2	13	6
EM4	2		
T1	1	11	8
T2	1	30	4
T3	2	25 ⁴	2

4) KRAJ IN ČAS ZLOMA

Najprej si oglejmo splošne lastnosti zlomov, posebno v povezavi z menjavami fizikalnih paradigme. Nato si bomo podrobneje ogledali zlom mehanične teorije toplote (T2) in prodor statistične mehanike (T3).

Več okoliščin ovira določitev točnega časa in kraja zloma fizikalne paradigme:

1) Zlom opredelimo kot konec rasti paradigme, ki mu sledi znižanje raziskovalnih prispevkov. Upadanje se kaže bolj v kakovosti kot v količini. Zato ostane sodobnikom skrito. Opazimo ga komaj s poznejšo analizo. Zlom je dogodek viden le opazovalcem iz prihodnjih rodov.

2) Zlom je začetek velikopoteznega širjenja paradigme v področja, za katera ni bila prvotno definirana. Paradigma postaja univerzalna, ko razširja svojo veljavo v mejna območja panoge, včasih tudi v vso fiziko ali v celotno znanost. Prav tako si k univerzalnosti prizadeva njena raziskovalna metoda razvita med rastjo, ki edina preživi poznejšo dezintegracijo paradigme.

Stopnja univerzalnosti po zlomu se seveda razlikuje pri desetih obravnavanih primerih. Najbolj izrazita je pri M1, zelo vidna je tudi v T2, T3, S2 in EM3. Podobno kot konec rasti lahko tudi začetek univerzalizacije dovolj natančno določi le poznejši opazovalec.

⁴ Paradigma T3 še ni končana in bo po trajanju bržkone prekosila večino predhodnic.

3) Zlom je posledica nezmožnosti raziskovalcev za ustvarjalen odgovor na enega izmed fizikalnih problemov, ki se odpirajo v ožjem področju paradigme, v njenem jedru. Seveda nobena paradigma ni popolna. Vsaka trči ob vprašanja, na katera zna odgovoriti le slabo ali pa sploh ne. Sodobnik ne more ugotoviti, katera težava bo zlomila rast paradigme, ki prevladuje v njegovem času. Prihodnji rodovi seveda lažje določijo vzrok za takšen preobrat.⁵

Iskanje kritičnega problema, ob katerem preneha rast paradigme, je uporabna metoda za določitev časa in kraja zloma. Točko zloma veliko težje določimo iz statistike objavljenih del, ki prevladujejo ob koncu rasti in začetku univerzalizacije. Zlom je kratko obdobje največjega raziskovalnega prispevka posamezne paradigme, vendar so ocene kvalitete objavljenih raziskovalnih prispevkov preveč subjektivne. Ne moremo se izogniti vplivu mnenja prihodnjih generacij o pravih smereh razvoja fizike, čeprav je ugled založnika osnovni kriterij za oceno kvalitete posamezne razprave ali knjige. Citiranost med sodobniki žal še ni uporaben postopek za oceno pomembnosti del natisnjenih pred 20. stoletjem.

Neuspešen odgovor paradigme na določen izziv je treba raziskovati bolj analitično, kot statistično. Točka zloma ni povsem razvidna iz še tako popolnega popisa objavljenih del. Predvsem zahteva dobro poznavanje načinov in smeri raziskovanja v fiziki preteklih stoletij.

4) Čas in v manjši meri tudi kraj zloma paradigme včasih sovpadata z rojstvom nove, ki jo bo pozneje nadomestila. Sodobniki tega ne vedo, saj ne morejo predvideti uporabnosti novorojene paradigme.

Prihodnji raziskovalec zlahka določi čas in kraj rojstva nove paradigme. Žal se nova, pozneje uspešnejša paradigma, ne rodi vselej prav v istem času, prostoru in raziskovalnem področju, na katerem je stara paradigma odpovedala ob zlomu. Nova paradigma se lahko rodi tudi po časovnem zamiku. Tako po zlomu preteče še vrsta let, preden v novi paradigmi rešijo problem, ki je povzročil zlom stare paradigme.

Preučimo razmerja med šestimi zlomi stare in rojstvi (oziroma začetki rasti) nove paradigme v času, kraju in področjih fizikalnega raziskovanja. Tako lahko določimo domnevno zakasnitev med obema dogodkoma. Če se bo pokazalo, da se je katera izmed šestih paradigem rodila pred zlomom svoje predhodnice, bo naš model falsificiran v pomenu, kot ga je uporabljal Karl Popper (1902-1994).

Načrt za določanje časovnega zamika je na dlani:

Po popisu Asimova (1978) določimo čas vsakega od šestih zlomov kot maksimum prispevkov raziskovalcev paradigme, manj natančno tudi kot maksimum prispevkov znotraj samega stanja zloma. Začetke rasti vseh šestih obravnavanih novih paradigem lahko določimo s precejšnjo točnostjo.

5) Večino univerzalnih učbenikov in knjig o posamezni paradigmi so natisnili po koncu njene rasti, torej po zlomu. Med rastjo ni bilo smiselno tiskati povzetke dotedanjih odkritij kot so storili: Newton (1704) v S1, Priestley (1769) v EM1z, Lagrange (1788) v M2u, Maxwell (1873) v EM3u in Gibbs (1902) v T3. Nova odkritja med rastjo bi takšne knjige hitro napravila neuporabne.

V vsaki paradigmi so objavili eno ali več univerzalnih knjig. Izjemoma so jih nadomestili univerzalni poskusi kot je bil Voltov (1800) v EM2. Prihodnje generacije navadno najbolj čislajo le eno izmed univerzalnih knjig kot povzetek odkritij celotne paradigme. Pogosto so bila to dela raziskovalcev, ki so pomembno prispevali k rasti paradigme (Newton, Lagrange, Maxwell, Gibbs, ne pa Boltzmann 1896 in 1898). Izjema je Priestley, ki ni

⁵ Experimentum (theoria) crucis.

bil najpomembnejši raziskovalec elektrike svoje dobe. Vendar je njegovo delo po Coulombovih odkritjih konec 18. stoletja ohranilo le še zgodovinsko zanimivost.

V paradigmah, kjer raziskovalci niso objavili univerzalnih del, kot se je zgodilo v S2 zaradi prezgodnje Fresnelove smrti, univerzalno knjigo deloma nadomestijo zbrana dela vodilnega raziskovalca. Fresnelova dela so to vlogo slabo odigrala, saj so jih ponatisnili kot zbrana dela šele med leti 1866-1870, ko se je z Maxwelllovo elektromagnetno teorijo svetlobe tudi v optiki že marsikaj spremenilo. Dovolj zgodaj sta bili objavljeni Clausiusovi zbrani deli o T2r (1864) in o T2u (1867), ki sta bili po obliki predvsem zbornika razprav in ne univerzalni knjigi, učbeniki z urejeno notranjo strukturo. Univerzalno stanje EM2 pa je omogočilo predvsem Voltovo odkritje baterije leta 1800. Tu ni bilo univerzalnega učbenika, razen v kolikor so ga natisnili kemiki za svoje potrebe.

Težave so tudi z univerzalnimi knjigami sodobnih teorij, kot sta kvantna mehanika in teorija relativnosti. Univerzalnost Solvayevega kongresa iz leta 1926 (M3r, EM4r, S3r, T4u) ali Diracovih in John von Neumannovih knjig ni bila splošno priznana. Podobno je bilo z Einsteinovimi izvirnimi razpravami o relativnosti (M3), nekoliko bolje s poljudnejšimi predstavitvami Arthura Stanleya Eddingtona (1882-1944).

V času zloma večkrat natisnejo univerzalne knjige. Nekatere so objavili že med rastjo: Galilejevi Diskurzi (1638) in Newtonovi Principi (1687) v M2r, Galvani (1791) v E2r, Ampère (1827) in Faraday (1839-1855) v EM3, Helmholtz (1847) v T2r itd. Rast in univerzalno stanje paradigme sta si tudi v tem oziru močno podobni. Vendar je Galvanijeva knjiga že po nekaj letih zastarela zaradi Voltovih odkritij. Tudi Newtonovi Principi niso postali učbenik prihodnjih generacij, saj v njih ni uporabil pozneje nepogrešljivega infinitezimalnega računa. Pogosteje so raziskujoči fiziki novih generacij segali po Faradayevi knjigi kot viru novih eksperimentalnih idej. Oglejmo si popis univerzalnih knjig in učbenikov fizike:⁶

Paradigma	V dobi rasti	Ob zlomu in v univerzalnem stanju	
M1			Aristotel (322 pr.n.št.)
M2	Galileo: Dialog (1632), Diskurzi (1638); Newtonovi Principi (1687)	Lagrange 1888, Laplace 1799-1825	
M3	Einsteinove razprave leta 1905		
S1	Huygens 1694	Newton 1704	
S2	Ni	Fresnel 1814-1820 (ponatis 1866-1870)	Ni
S3 = T4 = EM4	Ni	Solvayev kongres 1926, Dirac 1930, Von Neumann	
EM1	Ni	Priestley 1769	Coulombove razprave 1783-1789
EM2	Voltov poskus leta 1800	Ni	
EM3	Ampère 1834, Faraday 1839-1855	Maxwell 1873	
T1	Dalton po letu 1800	Fourier 1809-1822, pokriva le del paradigme	
T2	Helmholtz 1847	Clausius, zbornik razprav 1864, 1867	
T3	Tait 1866, Maxwell 1871, Meyer 1877, Boltzmann 1896-1898	Gibbs 1902	
SKUPAJ:			
12	7 knjig, 1 eksperiment	9 knjig, 1 zbornik	

⁶ Letnice se nanašajo na prve izdaje del

Z zbranimi ugotovitvami si pomagamo pri popisu zlomov starih in rasti novih fizikalnih paradigem v času in prostoru:⁷

	M1/M2	M2/M 3	S1/S2	S2/S3	EM1/EM2	EM2/EM3	EM3/EM4	T1/T2	T2/T3	T3/ T4
A	320 pr.n.št.	1788	1660	1833	1765	1806	1860	1810	1868	1903
B			1672, 1704	Fresnel 1820, Michelson 1881-1887	1769-1788 1779		1873		1865	1894
C	1683	1905	1800	1903	1794	1809-1816	1905	1830, 1843	1863, 1869	
D	Galileo 1638 Newton 1687	1905	1905	1800	1794	1819	1842	1905	1859, 1866	1900
E	Aristotel	New- ton	Akromat- ske leče	Eter	Coulomb	Prenos v kemijo	Maxwell	Ohranit- ev ener- gije	Entropi- ja, atomi	
F	Sila teže, astro- nomija		Velike hitrosti majhne razdalje	Val ali delec električni tok	Elektro- magne- tizem	Visoke hitrosti		Visoke hitrosti		Ena- ko- seva- nje
G	Italija, Grčija	Francij a	London	Velika Britanija	Pariz	Anglija, Italija	Pariz, Belgija	Fran- cija	Nem- čija Škot- ska	Ber- lin, Dun- aj
H	Cam- bridge	Zürich	London, Pariz	Zürich, Berlin	Severna Italija	Köpenha- gen Zeneva	Zürich, Pariz	Sever- na Nem- čija	Gradec Man- chester	Ber- lin, Ang- lija
I	2000	117	96	85	15	13	32	32	-3	6

Nasprotja med valovno in delčno teorijo svetlobe so sprožila kar dve rasti para- digem: S2 in S3. Le dva problema pri raziskovanju toplote sta povzročila najprej zlom v stari paradigmi in nato še rast nove: zakon ohranitve energije v T1 in T2 ter entropijski zakon v T2 in T3. Problem, ki je zlomil paradigmo, ni nedvoumno razviden v M1, M2, EM2 in le delno v S1. To so bile paradigme z najdaljšim univerzalnim stanjem. Zlom

⁷ A – čas zloma stare paradigme določen kot maksimum njenih skupnih raziskovalnih prispevkov med zlomom.
 B – čas zloma določen na osnovi drugih parametrov (univerzalna knjiga, konec rasti kot začetek vpadanja raziskovalnih prispevkov...)
 C – čas rojstva nove paradigme kot maksimum skupnih raziskovalnih prispevkov v paradigmi.
 D – čas rojstva določen po teorijskem prevdanku, kot meja med rasto in univerzalnim stanjem.
 E – pojavi, katerih raziskovanje sproži zlom stare paradigme.
 F – pojavi, katerih raziskovanje sproži rojstvo nove paradigme.
 G – zemljepisno področje zloma paradigme.
 H – zemljepisno področje rojstva paradigme.
 I – časovni zamik med zlomom stare in rasto nove paradigme.

paradigme je bil pri njih predvsem posledica začetka univerzalizacije paradigme (Aristotelianstva v M1 oziroma Newtonianstva v M2), ne pa nezmožnosti raziskovalcev paradigme pri reševanju katerega izmed zastavljenih problemov-izzivov. Med zlomom in novo rastjo drugačne paradigme je zato preteklo veliko število let. V teh letih se je šele pojavil problem, ki ga je nova paradigma bolje rešila od svoje predhodnice.

Najdaljša univerzalna stanja imajo tiste paradigme, katerih zlom ne povzroči nekompetentnost, temveč potreba po širjenju v nova področja.

Poseben primer je EM2. Tu ni prišlo do zloma znotraj fizike, tako da je nova paradigma EM3 prekosila staro kar med njeno rastjo. Stara paradigma EM2 je še nekaj časa prevladovala kot univerzalna teorija v sosednjih področjih elektrokemije, medtem ko so fiziki že raziskovali v EM3. Prehod v kemijo se je posrečil tudi zato, ker se je EM2 razvila na meji med fiziologijo, fiziko in kemijo. Pomembna je bila tudi poklicna struktura raziskovalcev elektrike v 18. in zgodnjem 19. stoletju. Prevladovali so zdravniki, ki niso imeli več odločilne vloge pri razvoju EM3.

Oglejmo si najprej 6 primerov z dobro določenimi razmerami med zlomom stare in rastjo nove paradigme: S1/S2, S2/S3, EM3/EM4, T1/T2, T2/T3 in T3/T4. Pri vseh opazimo zlom zaradi nekompetentnosti stare paradigme. Povprečni zamik med zlomom in novo rastjo je le 27 let, pri vseh devetih merljivih paradigmah pa 43 let. Pri računu nismo upoštevali predolgega prehoda med zlomom M1 in novo rastjo M2.

Le pri raziskovanju drugega zakona termodinamike opazimo negativen časovni zamik med zlomom T2 in začetkom rasti T3. V strogem Popperjevem pomenu je s tem "falsificirana" domneva, da se uspešna rast nove paradigme vedno začne po zlomu stare. Vendar gre v našem primeru le za razliko nekaj let pri razmeroma veliki napaki meritve. K zlomu T2 štejemo predvsem Clausiusovo objavo lakonične oblike obeh termodinamskih izrekov leta 1865 ter Boltzmannov (1866) in Clausiusov (1870) poskus mehanične interpretacije entropije. Med tem časom se je Clausius preselil iz Züricha v Bonn, kar je prispevalo k poznejši objavi njegovih raziskovanj T2 v Leipzigu.

Maxwel, profesor na univerzah v Aberdeenu na Škotskem in v Londonu, je začel razvijati novo paradigmo T3r med leti 1859-1860. Njegovo delo je nadaljeval predvsem Boltzmann v Gradcu po letu 1866. Idejna in zemljepisna oddaljenost med Nemčijo in Londonom je povzročila zamik med Clausiusovim raziskovalnim viškom ob zlomu T2 in Maxwellovim začetkom rasti T3.

Oglejmo si zamenjavo paradigem T1 in T2. Fluidna teorija se je po zlomu T1 leta 1810 med leti 1830-1845 najprej razvila v valovno teorijo toplote (Brush, 1976). S tem je postala pravzaprav del univerzalne paradigme S2. S2 se je v tridesetih letih zlomila ob problemih z etrom. Prav ta imperializem S2 je zasukal razvoj teorije toplote s poti, ki jo sicer ubere večina fizikalnih paradigem.

Nova paradigma T2, imenovana mehanična teorija toplote, se je pojavila celo generacijo (32 let) po zlomu stare fluidne teorije T1. Pri tem je nova termodinamika deloma podedovala pojme iz T1 in jih združila z novo univerzalno metodo. Stara domača univerzalna metoda T1 je bila Fourierova analiza, medtem ko je bila analitična mehanika Lagrangea in Laplacea izposojena iz M2. Fourierova analiza je preživela tudi prehod v novo paradigmo T2 skupaj za zametki zakonov o ohranitve energije, entropijski puščici časa in računanju s povprečnimi vrednostmi lastnosti nevidnih delcev. Fourierova analiza je ostala nepogrešljiv del sodobne metematične fizike.

Uspešnejše med Toynbeejevimi (1962) univerzalnimi cerkvami preživijo tja v sodobnost, medtem ko se civilizacije rojevajo in odmirajo. Enako se je posrečilo nekaterim univerzalnimi metodam v fiziki, med njimi Fourierovi analizi. Preživele so eno ali dve menjave paradigem in ostale obvezno učno gradivo študentov fizike na univerzah.

Zemljepisne razmere med zlomom in novo rastjo kažejo presenetljivo podobnost pri vseh desetih obravnavnih primerih. Le pri prehodu med paradigama S1/S2 in deloma T2/T3 je prišlo do neposredne razprave med zagovorniki obeh paradigem. V prvem primeru sta se nasprotnika Hooke in Huygens dajala z Newtonom pri londonski Royal Society. V drugem primeru sta se leta 1870 in 1871 Clausius in Boltzmann sprla predvsem glede prioritete, tako da kritika nasprotnikovih trditev ni bila v ospredju. Zaradi Boltzmannovega poznejšega raziskovanje v T3 je bil njun boj za prioriteto tudi spor med zagovornikoma različnih paradigem.

Samo raziskovalci S1 in S2 so ob sporu raziskovali v sosednjih mestih Londonu in Cambridgeu na razdalji manj kot sto kilometrov. Pri drugih devetih prehodih je do zloma in nove rasti prišlo v različnih državah. Le pri prehodu S1/S2 in deloma T2/T3 ter T3/T4 so raziskovalci obeh nasprotujočih si paradigem objavljali tudi v različnih jezikih.

Jezikovni prepad pred 19. stoletjem ni bil hud. Kot "lingua franca" je bilo mogoče uporabljati latinščino, ki je olajšala sporazumevanje med zgodnjimi zamenjavami paradigem M1/M2 in S1/S2.

5) ZLOM MEHANIČNE TEORIJE TOPLOTE (T2)

Zlom ni točka v času. Ne zgodi se istočasno pri raziskovalcih v vseh deželah, niti ne obenem na vseh raziskovalnih področjih. Trajanje zloma je omejeno na obdobje krajše od ene generacije, tudi če hkrati opazujemo vsa raziskovalna središča in vsa raziskovalna področja.

Trajanje zloma se krajša z razvojem komunikacij, ki se ne razvijajo enako hitro v vseh panogah fizike in v vseh raziskovalnih središčih.

Gotovo bi si nakopali veliko dela, če bi hoteli razkriti razmere v času, prostoru in delih panoge pri vseh desetih zlomih fizikalnim paradigem pred 20. stoletjem. Oglejmo si le zlom T2, za katerega pri Brushu (1976) dobimo dovolj podrobne podatke o raziskovalcih in objavljenih delih. Brushov popis se nanaša le na tista dela v T2 in T3, ki obravnavajo gibanje imenovano toplota. Zajema večino zgodnjih del v T3, vendar le eno izmed štirih področij T2, kinetično teorijo toplote (T2u). Brush ni popisal ostalih treh raziskovalnih področij T2: prevajanje toplote ter prvi in drugi zakon termodinamike. Drugače kot kinetična teorija so se ta raziskovalna področja ukvarjala z makroskopskimi vidiki termodinamike T2.

Mehanična teorija toplote se je z(a)lomila ob poskusih mehaničnega opisa entropije pri Boltzmannu leta 1866, ter Clausiusu leta 1870 in 1871. T2 ni mogla uskladiti svojega opisa atomov in molekul z rezultati poskusov. Zato se je resne obravnave fizike atomov po zlomu lotila komaj univerzalna paradigma T2, kinetična teorija toplote. Starejše teorije z Dynamidami in vrtinci problemu še zdaleč niso bile kos. Poznejša statistična mehanika je pokazala, da so bili celo prijemi kinetične teorije premalo koretni. Delcev, ki so za več redov velikosti manjši od do tedaj znanih, se ni dalo pravilno opisati z "klasičnimi" prijemi T2.

Mehanična teorija toplote W. Thomsona (1852) in Clausiusa (1867) se je z raziskovanjem toplotne smrti vesolja predstavila kot univerzalna teorija naravoslovja v celoti. Obravnavala je ogromno vesolje in odpovedala pri nevidno majhnih delcih.

Do zloma T2 je prišlo predvsem v nemško govorečih deželah v Zürichu, Bonnu in Gradcu. Pri nekaterih Angležih in Škotih (Maxwell) je bil prehod od analitične do statistične metode mnogo manj boleč, skorajda zvezen. Pri drugih do prehoda sploh ni prišlo, tako da so raziskovalci nadaljevali z raziskovanjem T2 tja v 20. stoletje (Kelvin, 1901, 1-40).

Priljubljenost Kelvinovih (1824-1907) razmisljanj se je ohranila še v sodobnih učbenikih. Teža Kelvinovega pisanja skoraj pol stoletja po zlomu T2 v Evropi pomeni, da lahko čas zloma T2 v Glasgowu in večjem delu Velike Britanije pomaknemo precej za leto 1865. Žarišča nove rasti v Gradcu, Dunaju in Cambridgeu med leti 1871-1879 so zelo hitro prebolela zlom. V Veliki Britaniji se je to zgodilo zaradi Maxwellove genialne intuicije v letih 1859-1860. V Avstriji zlom T2 ni povzročil velikih sporov zaradi izjemnega sožitja treh generacij vodilnih raziskovalcev: Andreasa von Ettingshausna, Stefana in Boltzmana. Zaostanek pri sprejemanju statistične raziskovalne metode v Nemčiji in predvsem v Franciji pa meri cela desetletja, pri Kelvinu še več.

Krivuljo vseh raziskovalnih prispevkov v fiziki sestavlja več delov, ki opisujejo razvoj raziskovanja posameznih problemov. Te krivulje imajo med normalno rastjo eksponentno obliko (Kuhn, 1978, 208 in 229). Nekatere med njimi v izjemnih okoliščinah strmo rastejo zaradi intenzivnega dela raziskovalcev.

Analizo stopnjamo po naslednji shemi:

- Med vso raziskovalno dejavnostjo se omejimo na prirodoslovje.
- Med vsemi področji prirodoslovja izberimo fiziko.
- Med štirimi panogami fizike po razdelitvi iz 19. stoletja izberimo raziskovanje toplote, torej četrtno celote.
- Med raziskovanji toplote izločimo T1, ki obsega manj od tretjine.
- Med raziskovanji v T2 izločimo tiste v rasti, torej vsaj polovico.
- Med raziskovanji v univerzalnem stanju T2 obdržimo le tiste, ki obravnavajo toploto kot gibanje oziroma atomistiko. To je najpomembnejše med štirimi področji raziskovanja v T2u, ki prevlada s kinetično teorijo po letu 1865.
- Med raziskovanji v T3 obravnavamo le zgodnjo dobo statistične mehanike. To je del zgodnje dobe rasti T3 pred letom 1900.

Gotovo so delitve, ki nas pripeljejo do obravnave raziskovanja toplote dovolj jasno definirane. Manj jasne so delitve znotraj raziskovanja toplote, med njimi tudi sama ločitev T2 od T3. Domnevamo, da smo obdržali nekaj več kot osmino raziskav v T2 in dobro polovico raziskav v T3 pred letom 1900 ter nobene raziskave v T1. Brushov podpis (1976), na katerem so opravljene zgoraj opisane operacije tako obravnava:

$$0 \cdot (1/3) + (1/3) \cdot (1/3) + 1 \cdot (1/3) = 4/9$$

torej blizu polovice vseh raziskav toplote med leti 1800-1900. Izbrana polovica obravnava toploto kot gibanje, torej fiziko molekul.

Zgodnje raziskovanje v rasti T2 imenujemo mehanično teorijo toplote po nemškem "mechanische Wärmetheorie". Poznejši razvoj T2 imenujemo kinetično teorijo, po Maxwellu "Dynamical theory of heat", in ima značilnosti univerzalne paradigme.

Kinetična teorija toplote se je uveljavila kot univerzalna paradigma T2 šele v drugi polovici 19. stoletja. Njene vire lahko najdemo že leta 1738 pri D. Bernoulliju. Več predparadigmatskih raziskav kinetične teorije so v prvi polovici devetnajstega stoletja objavili Angleži Waterston, Herapath in Joule. Clausiusov (1857) raziskovalni zamah je dosegel višek okoli leta 1878, izčrpal pa se je s Kelvinovo razpravo (1901). Kinetična teorija se je iz ozkega področja raziskav termičnega gibanja v plinih razvila do standardne panoge klasične fizike.

V Brushov (1976) popisu so raziskovanja teorije toplote desetkrat pomembnejša od eksperimentov. To nesorazmerje ni značilno za vso fiziko, velja pa tudi za Brushov popis objavljenih raziskav v T3. Šibka eksperimentalna podprtost teorijskega raziskovanja je povzročila velike preglavice raziskovalcem. Skupaj s terminološko zmedo v prvi polovici devetnajstega stoletja je spodbujala tragikomično zgodovino termodinamike (Truesdell, 1980).

Po Brushu (1976) je v kinetični teoriji (T2u) raziskovalo 93 raziskovalcev, ki so

popprečno objavili manj kot dve deli. Število objavljenih raziskav je bilo približno enako kot v T3 pred letom 1900 (T3r). Vendar so raziskovalci v T3r po Brushovi in moji oceni objavljali pomembnejše raziskave.

V statistični mehaniki (T3r) je objavljalo za četrtno manj raziskovalcev kot v kinetični teoriji (T2u). Ti so objavljali za polovico več del, ki so bila za nameček tudi pomembnejša.

Del razlik pri ocenah obeh paradigem je mogoče pojasniti s sistematsko napako. Raziskovanja o statistični mehaniki višje cenimo tudi zato, ker so nam časovno in vsebinsko bližje.

Univerzalno stanje stare in rast nove paradigme sledita zlomu stare paradigme. Kljub temu se je Clausiusova kinetična teorija, poznejša T2u, začela razvijati nekaj let preden je dosegla T2r svoj višek z zlomom. Tako kinetična teorija, kot kmalu za njo statična mehanika (T3r), sta se prvih nekaj let razvijali kot predparadigmi.

Brush (1976) ni obravnaval predparadigme statistične mehanike, ki se je kovala predvsem v matematičnih delih. Ta so pozneje Maxwellu in predvsem Boltzmannu prinesla že dodelan aparat, ki ga je bilo treba le še prirediti posebnim problemom atomov in molekul.

Razvoj kinetične teorije (T2u) in statistične mehanike (T3r) je potekal skoraj vzporedno. Slednja je uporabljala univerzalno metodo, ki je bila v marsičem nadgradnja prve. Obe sta imeli tudi enako visoka maksimuma raziskovalnega prispevka med leti 1875-1878 in ju pogosto ni mogoče strogo ločiti. Kadar ne gre za neposredne kritike nasprotnikov z ene ali druge strani je pri manj pomembnih avtorjih pogosto težko določiti, katero smer zastopajo.

Razlika med T2u in T3r je bila predvsem metateoretska (Lelas, 1990). Zagovorniki T2, vključno s Simonom Šubicom in Clausiusom, na nekem višjem poznejšem nivoju celo z Einsteinom, niso mogli sprejeti domneve, da dogajanja v svetu atomov in molekul v *principu* ni mogoče opisati deterministično, temveč le statistično s teorijo verjetnosti. Nasprotja med metateoretskimi koncepti T2 in T3 so se ostro pokazala šele pri kvantni mehaniki 20. stoletja. Zato jih težko prenašamo pol stoletja nazaj. Težko bi ocenili Boltzmannov odnos do načela nedoločenosti, ki je nastalo dve desetletji po njegovi smrti. Morda bi bil prav tako odklonilen kot pri njegovem posrednem učencu, 35 let mlajšem Einsteinu.

Maksimumu v T2 in T3 je sledil padec raziskovalnega prispevka v obeh paradigmah, ki je bil izrazitejši v T2u. Do padca je prišlo po večletnih burnih razpravah, objavljenih predvsem v Ann.Phys. Obe strani sta doživeli neke vrste razočaranje zaradi inkomezurabilnosti obeh teorij, ki je onemogočala uspešno prepričevanje nasprotnikov. Takšna inkomezurabilnost v Kuhnovem (1998) pomenu je pri stiku T2 in T3 toliko bolj presenetljiva, ker obe strani nista obravnavali le enakega problema, temveč sta uporabljali tudi sorodni univerzalni metodi, med katerima je bila navidez nepomembna metateoretska razlika. Morda je skupni padec raziskovalnega prispevka po prevladi nove paradigme tem večji, čim večja je sorodnost obeh paradigem in njunih univerzalnih raziskovalnih metod.

Razvoj obeh paradigem po skupnem padcu raziskovalnega prispevka ni bil več vzporeden. Kinetična teorija (T2u) si od hudega padca raziskovalnih prispevkov nikoli ni povsem opomogla. Kljub rahlemu dvigu v naslednjih desetletjih ni bila več privlačna za raziskovalce v dvajsetem stoletju.

Nasprotno je T3 po skupnem padcu raziskovanja v drugi polovici osemdesetih let nadaljevala še z močnejšo rastjo. Ta se je zlomila šele z rojstvom univerzalne paradigme kvantne mehanike med leti 1900-1926. Planckovo odkritje kvantov in razvoj teorije pri Einsteinu in celo Bohru (1913) imamo za zametek univerzalne teorije. Ta se je uveljavila šele po Solvayevem kongresu leta 1926, čeprav je prevladala v Köpenhagenski

šoli že več let pred tem. Stara kvantna mehanika je kot predparadigma sodobne kvantne mehanike odigrala podobno vlogo kot raziskovanje D. Bernoullija, Waterstona, Herapatha in Joula pred Clausiusovo razpravo iz leta 1857.

Univerzalno stanje stare in rast nove paradigme se razvijata na podoben način v času, ne pa tudi v prostoru. Tem bolj sta si podobni, čim bolj sorodni univerzalni raziskovalni metodi uporabljata. Vzporeden razvoj obeh paradigem se neha potem, ko raziskovalen prispevek nove prvič preseže prispevek stare paradigme. Sledi obojestranski padec raziskovalnega prispevka, razpad (dezintegracija) stare paradigme in še bolj strma rast nove paradigme.

Prehod med paradigama T2 in T3 ima naslednje posebnosti:

1) Vsota raziskovalnih prispevkov v panogi eksponentno narašča. V rasti ni opaziti večjih nezveznosti niti ob menjavi paradigem. Ko začne po zlomu upadati raziskovalni prispevek v stari paradigmi, istočasno narašča raziskovanje v novi.

2) Ob zamenjavi paradigme z novo pride do medvladja, ki se raziskovalcem nove paradigme kaže kot rast, raziskovalcem stare paradigme pa kot kriza univerzalnega uveljavljenega načina raziskovanja. Ob koncu krize se intenziteta raziskovanja kritičnega problema za nekaj let močno zmanjša. Zmanjšanje preživi le raziskovanje v novi paradigmi.

3) Hipoteza o menjavanju dveh nasprotnih si temeljnih domnev pri paradigmi in njeni naslednici ni pravilna. Takšen par prevladujočih nasprotnih domnev lahko najdemo le v optiki. Tam sta bili temeljni domnevi S1 in S2 nasprotni, saj sta zagovarjali valovne oziroma delčne lastnosti svetlobe. Pozneje je prevladala S2, ki je na nekem višjem nivoju združila lastnosti obeh nasprotujočih si modelov. Tri paradigme optike tako tvorijo dialektično trojico teze, antiteze in sinteze. Ostalih menjav fizikalnih paradigem ni mogoče opisati na takšen način, še posebej ne raziskovanja toplote.

6) ZAKLJUČEK

Zlom je konec rasti fizikalne paradigme. Sledi mu dezintegracija in razpad med rastjo skrbno zgrajenega notranjega ustroja paradigme, ki ju bomo opisali v nadaljevanju razprave.

7) LITERATURA

- Asimov Isaac (1978), *Biographical Encyclopedia of Science and Technology*, London, Pan Books Ltd.
- Boltzmann Ludwig (1866), *Über die mechanische Bedeutung der zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie*, Wien.Ber., 53, Dunaj, str. 195-220.
- Brush Stephen S. (1976), *The kind of motion we call heat*, 2. del, Amsterdam-New York-Oxford, North-Holland.
- Fresnel Augustin Jean (1866-1870), *Oeuvres complètes*, Paris, Senarmont, Verdet et Léonor Fresnel.
- Gibbs Josiah Willard (1902), *Elementary principles in statistical mechanics*, New York.
- Helmholtz Herman von (1847), *Über de Erhaltung der Kraft, Eine physikalische Abhandlung*, Berlin, G. Reimer.
- Kelvin William Thomson Lord (1901), *Nineteenth Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and light*, Phil.Mag., 2, str. 1-40.
- Kuhn Thomas S. (1978), *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity 1894-1912*, New York, Oxford University Press.
- Kuhn Thomas S. (1998), *Struktura Znanstvenih Revolucij*, Ljubljana, Krtina.
- Lamé Gabriel (1861), *Leçons sur la théorie analytique de la chaleur*, Paris.
- Relas Srdžan (1990), *Topology of Internal and External Factors in the Development of Knowledge*, Hrvaški prevod v: *Promišljanje znanosti*, Zagreb, Hrvaško filozofsko društvo.

Toynbee Arnold Joseph (1962), *A study of history*, New York, Oxford University Press.

Truesdell Clifford Ambrose (1980), *The Tragical History of Thermodynamics 1822-1854*, New York-Heidelberg-Berlin, Springer-Verlag.

Ule Andrej (1998), *Kuhnova paradigma in revolucija v teoriji znanosti*, spremna beseda h Kuhn (1998).

Wells Herbert George (1921), *The Outline of History*, 3. izdaja, New York, McMillan&Co.