

OSVEŽIMO NAŠE ZNANJE

PERIOD PRIHVATANJA KVANTNE TEORIJE
– ISTORIJSKA PREKRETNICA U RAZVOJU
PRIRODNIH NAUKA

Namera autora ovog članka je da se zainteresovani čitaoci podsete na jedan značajan period progressa prirodnih nauka oslonjenih na fiziku i hemiju. Taj period počinje otkrićem kvanta – "kvanta dejstva" (quantum d'action) početkom XX veka i trajao je više godina (do 15 godina). Prvo objavljivanje otkrića pojavilo se na samom kraju XIX veka (19. oktobar 1900.). Otkriće je ostvario jedan od najvećih naučnika svih vremena Maks Plank (Max Karl Ernst Ludwig Planck). Tako visoku ocenu, pored velikog broja drugih naučnika, dao je o Planku isto takav velikan nauke Luj de Brojli (Louis de Broglie). Primer je posebno poučan i važan za sadašnje i buduće generacije naučnika, jer pokazuje koliko se mora uložiti energije i koliko je potrebno strpljenja u upornom radu da bi jedna nova ideja bila prihvaćena.

Treba imati u vidu da je Plank bio fizičar – termodinamičar i da je koristeći saznanja termodinamičke fenomenologije došao do otkrića kvanta, uz prethodni zaključak da u prirodnim promenama, pod određenim uslovima, dolazi do pojava diskontinuiteta tj. do skokovitih promena. Pošto su se u XIX veku fizika i hemija kao nauke već znatno razvile, a pojavila se i statistička termodinamika kao posebna naučna disciplina, postalo je moguće rešavati složenije probleme uz neophodnu saradnju više naučnih disciplina. Takav jedan problem pojavio se pri proučavanju termičkog zračenja čvrstog tela. U čemu se sastoji taj problem? Na povišenim temperaturama, pogotovu kod usijanog tela, sa spoljnih graničnih površina emituje se kontinualni spektar termičkog zračenja, sem sa površina u unutrašnjim zatvorenim šupljinama, odnosno u posebno izgrađenim zatvorenim prostorima u kojima je ostvareno izotermno stanje, gde to zračenje nije moguće registrovati. Rešavanjem tog problema koji je mnogo godina bio velika enigma i izazov za naučnike, došlo se do otkrića kvanta. Nabrojaćemo samo neka od najvažnijih saznanja koja su u prethodnim periodima osvojena, a bila su neophodna da bi se taj problem rešio:

– U periodu od 1830. do 1890. godine, zahvaljujući radovima Faradeja (Faraday) i Maksvela (Maxwell), elektrodinamika (elektromagnetizam) matematički je bila obrađena i eksperimentalno u najvećoj meri potvrđena;

– Maksvelova teorija elektromagnetizma dala je objašnjenje za prirodu svetlosti, dok je matematička teorija talasnih kretanja bila dosta ranije razvijena polazeći od radova Hajgensa (Huygens), Njutna

(Newton), Furijea (Fourier) i drugih. Ove dve teorije zajedno su omogućile izučavanje zračenja;

– Sakupljena je bila značajna količina podataka iz oblasti spektroskopije, tj. o pojavi i karakteru spektralnih linija pri prolazu svetlosti kroz materiju u gasovitom stanju;

– Teorijski je rešen problem povratnosti mehaničkih skupnih promena kod velikog broja čestica čije promene nastaju pod dejstvom istih sila, što je možda, za rešavanje ovog problema, jedno od bitnijih saznanja kome će ovde biti posvećeno malo više pažnje. Nađen je ispravan odgovor na pitanje povratnosti procesa, tj. rešen je problem nepovratnosti termodinamičkih makroskopskih promena. Rešenje ovog problema je dao u drugoj polovini XIX veka čuveni fizičar Bolcman (Ludwig Boltzmann). On je prihvatio Njutnove zakone klasične mehanike kao apsolutne, a oni iskazuju povratnost svih promena kada se radi o kretanjima tela bilo koje mase, pa sigurno važe i pri sudaru, ili bilo kom međusobnom uticaju i najsitnijih čestica materije. To znači, ako se znaju položaji i impulsi pojedinih čestica u nekom trenutku vremena, onda se po tim zakonima mogu izračunati te iste veličine za bilo koje prethodno i naredno vreme. Međutim, kada se radi o makro stanjima (na primer za gasove, merljive veličine makro stanja su pritisak, temperatura i zapremina), a to su srednja stanja ogromnog broja čestica, praktično se ne može realizovati prethodno stanje, tj. kod makro stanja procesi su nepovratni, iako je povratnost prethodnog stanja za bilo koju posebnu česticu lako izvodljivo. Bolcman je ovu protivrečnost rešio uvođenjem statističke verovatnoće, koja može uprošćeno da se objasni na sledeći način. U nekom trenutku svaka čestica ima veliki broj podjednako mogućih (verovatnih) narednih stanja među kojima je sa istom verovatnoćom i prethodno stanje, tj. to prethodno je jedno od velikog broja ravnopravno mogućih stanja. Analizom za sve čestice

svih ravnopravno mogućih narednih stanja pronalazi se srednje najverovatnije naredno makro stanje, a to nije prethodno makro stanje, ili je ono suviše malo verovatno, pa se praktično nikada ne pojavljuje.

Uvođenjem matematičkog pojma statističke verovatnoće u termodinamiku stvorena je statistička termodinamika. Osnovni zadatak te nauke je omogućavanje proračuna makro stanja koja se mogu meriti, tj. proračun makroskopskih veličina stanja (kao što su pritisak, temperatura i zapremina za gasove), a polazeći od mikro stanja, odnosno od stanja pojedinih čestica čije promene se mogu pratiti primenom Njutnovih zakona. Jedno od najvažnijih saznanja koje je statistička termodinamika teorijski razradila i eksperimentalno verifikovala krajem XIX veka bilo je iskazano najverovatnijom raspodelom čestica (molekula, atoma, a kasnije je primenjeno i na elektrone, fotone...) po energetske nivoima, što predstavlja zakon čiji je najčešći naziv kanonska raspodela. Treba imati u vidu da je pri izvođenju kanonske raspodele čestica značajnu ulogu odigralo pre toga osvojeno saznanje o nepromenljivosti faznog prostora tokom vremena. Ovo saznanje je definisano u Liuvillovoj (Liouville) teoremi, koja iskazuje da se stišljivi fluid ponaša u faznom prostoru isto kao nestišljivi fluid u geometrijskom prostoru.

Sada se vraćamo postavljenom problemu ravnotežnog termičkog zračenja u šupljinama (zatvorenim prostorima) u čvrstom telu gde vlada izotermno stanje. Rešavanje problema je postavio, u formi ravnoteže između emisije i apsorpcije energije termičkog zračenja sa površina koje ograničavaju šupljinu, fizičar – termodinamičar Kirhof (G. Kirchhoff). On je pozvao fizičare da nađu analitički izraz za eksperimentalno dobijene funkcionalne zavisnosti ravnotežnog termičkog zračenja od talasnih dužina, a za različite temperature $E_a = E_e = E_{a,e}(\lambda, T)$, gde su E_a i E_e energije apsorpcije i emisije, λ talasna dužina apsorbovanih/emitovanih talasa zračenja, a T je apsolutna temperatura. Eksperimentalne zavisnosti $E_{a,e}(\lambda, T)$ u vidu funkcionalnih krivih koje su dobili fizičari pod vodstvom Kirhoha su bile ustanovljene i verifikovane. U tom periodu Kirhof predlaže (uvodi) jezički pojam "apsolutno crnog tela" koje ima osobinu da apsorbuje svu energiju zračenja koja dospeju na njegove površine i istovremeno zračenjem sa istih površina tu energiju emituje. (Napomena: U unutrašnjosti šupljine nema reflektovanog zračenja, pa ni vidljivog, te je taj prostor (njegove površine) asociirao na crno telo. Pored toga, u to vreme postojao je i termin "crno zračenje" što je asociiralo na mali deo zračenja kroz minijaturni eksperimentalni otvor koji je služio za ispitivanje.)

Razjašnjavanje spektralne raspodele energije ravnotežnog termičkog zračenja kod čvrstog tela ("crno zračenje") bilo je veliki izazov i pokretač u naporom radu za sve istraživače koji su se tim bavili. U

traženju rešenja pošlo se od prihvatanja definicije čvrstog tela kao skupa od N atoma pravilno međusobno razmeštenih u trodimenzionalnoj rešetki, gde atomi mogu samo da osciluju oko svog ravnotežnog položaja. Za sam atom u to vreme važio je Raderfordov (Rutherford) model atoma kao harmonijskog oscilatora kod koga elektron ima kružnu (eliptičku) putanju oko jezgra i ima odgovarajuću brzinu koja ga održava na putanji. Atom bi trebalo kontinualno tokom jednog ciklusa da emituje (apsorbuje) svetlost, koja se registruje sa frekvencijama jednakim broju obilazaka (ciklusa) u sekundi elektrona oko jezgra atoma.

Dalji tok izlaganja oslanja se na istorijske činjenice, pri čemu treba imati u vidu da je izučavanje termičkog zračenja specijalno poglavlje prirodnih nauka i da je ono otvorilo takozvanu krizu kvanta, što je bio početak značajnog progressa nauke u celini. Sagledavanje uslova i problema koji su stajali pred autorom teorije kvanta pokušaćemo da pokažemo citatima iz literature vezane za te probleme u to vreme. Prvi citat prema viđenju slavnog fizičara Luja de Brolija [1], ukazuje na teškoće i napore sa kojima se Plank susretao i koje je imao tokom rada na rešavanju zagonetnog "crnog zračenja", a probleme koji su nastali u prihvatanju teorije kvanta od strane značajnih naučnika toga vremena najbolje ilustruje citat koji se odnosi na raspravu tokom Solvej (Solvay) kongresa 1911. godine [2]. Ta dva citata su navedena u daljem tekstu.

Citat prema lit. [1] (Louis de Broglie): "Okolo 1900. godine Maks Plank, koji je prešao 40-tu godinu života, nalazi se u krugu fizičara Berlina, jako okupiranih teškoćama koje su se javile u interpretaciji spektralne raspodele ravnotežnog termičkog zračenja, prilično netačno nazvanog crno zračenje. Pošto je pitanje crnog zračenja u osnovi vezano za termodinamiku, čiji je Plank bio veliki teoretičar, on se, prirodno, veoma zainteresovao za taj vrlo težak problem.

U čemu se, dakle, sastojao taj problem? Crno zračenje je, kao što je poznato, zračenje sadržano u stanju ravnoteže u unutrašnjosti zatvorene komore čiji se zidovi, kao i sva materijalna tela koja ona obuhvata, održavaju na određenoj uniformnoj apsolutnoj temperaturi T . To je takođe zračenje koje emituje površina tela koje idealno apsorbuje a koje se održava na temperaturi T . Sasvim opšta termodinamička rasuđivanja su omogućila Kirhofu da pokaže da ova kvo zračenje uopšte ne zavisi od prirode zidova komore, niti tela u njenoj unutrašnjosti, već samo od apsolutne temperature T . Na bazi drugih termodinamičkih rasuđivanja, Stefan (J. Stefan) je pokazao da ukupna količina energije ρ sadržana u jedinici zapremine crnog zračenja raste sa četvrtim stepenom apsolutne temperature i taj zakon je eksperimentalno potvrđen ($\rho = aT^4$).

Crno zračenje može biti razloženo pomoću Furijeove analize na sastavna monohromatska zračenja. Postavlja se pitanje kakav je spektralni sastav tog zračenja, drugim rečima treba odrediti funkciju $\rho(v, T)$, gde "spektralna gustina" $\rho(v, T)dv$ daje količinu energije sadržane u jedinici zapremine i koja odgovara intervalu frekvencije između v i $v+dv$. Oslanjajući se jedino na rasuđivanja na bazi klasične termodinamike, Vin (Wien) je mogao pokazati da funkcija $\rho(v, T)$ ima oblik:

$$\rho(v, T) = \left(\frac{v}{c}\right)^3 \Phi\left(\frac{v}{T}\right)$$

gde je Φ neka funkcija promenljive v/T koja se termodinamičkim rasuđivanjima nije mogla odrediti. Međutim, ubrzo je shvaćeno da je fenomenološka termodinamika dala sve što je mogla dati, i da je za dalje napredovanje, tj. za definisanje tačnog oblika funkcije Φ , potrebno uraditi detaljnu analizu razmene energije između materije i zračenja u unutrašnjosti zatvorene komore. Takva analiza je, uostalom, izgledala dosta jednostavna, jer je teorija elektrona u to vreme već omogućila vrlo dobro definisanu šemu za pojave emisije i apsorpcije zračenja od strane materije; dovoljno je, dakle, načiniti bilans energija koje materija emituje i apsorbuje pri temperaturi T i izraziti da u stanju ravnoteže postoji statistička kompenzacija procesa emisije i apsorpcije. Račun je izveo Rejli (Rayleigh) i verifikovao Plank; kasnije su račun ponovo izvršili drugim metodama Džins (Jeans) i Anri Poenkare (Henri Poincare). Rezultat je uvek bio sledeći: funkcija $\rho(v, T)$ je:

$$\rho(v, T) = \frac{8\pi v^2}{c^3} kT$$

gde je c – brzina svetlosti u vakuumu, k – konstanta u statističkoj termodinamici koju je uveo Bolcman i čija je vrednost poznata iz drugih izvora. Nažalost, taj zakon spektralne raspodele energije u crnom zračenju, nazvan Rejli–Džinsov zakon, uopšte ne odgovara eksperimentalnim rezultatima. Eksperimenti pokazuju da je za datu temperaturu T , funkcija $\rho(v, T)$ predstavljena zvonastom krivom koja ima maksimum. Veličina $\int_0^{\infty} \rho(v, T)dv$, koja predstavlja ukupnu količinu energije sadržane u jedinici zapremine crnog zračenja, ima konačnu vrednost, što je logično. Naprotiv, Rejli–Džinsov zakon daje parabolčan rast ρ sa v . Ne samo da takav oblik krive nije saglasan sa eksperimentom, nego dovodi do apsurdnog zaključka – da bi ukupna energija zračenja crnog tela po jedinici zapremine bila beskonačna.

Tako je analiza uz pomoć klasičnih teorija za ravnotežu razmene energije između materije i zračenja na temperaturi T dovedena u totalni ćorsokak, a

ubrzo se uvidelo da i sve teorije zasnovane na idejama klasične mehanike i elektromagnetizma moraju da vode u bezizlaz, jer one sve neizbežno vode prema zakonu Rejli–Džinsa. Za izlaženje iz tog ćorsokaka bilo je potrebno u fiziku uvesti potpuno novi pojam, sasvim nepoznat u klasičnoj fizici. Slava za uvođenje tog novog pojma pripala je besmrtnom Maks Planku, koji nam je otkrio postojanje tajanstvenog kvanta dejstva.

Želeći da reši enigm, Plank se uneo u njeno rešavanje svim svojim duhom koji je već dugo bio istreniran najsuptilnijim studijama teorijske fizike. U početku je mogao samo da konstatuje ozbiljnost teškoća sa kojima se sudario i nije mogao naći drugačiji zakon od zakona Rejlja. Međutim, malo–pomalo, vođen zapažanjima i intuicijom, koje ja ovde ne mogu reprodukovati u detaljima, nazreo je put kojim treba poći. 'Posle nekoliko nedelja najintenzivnijeg rada u mom životu, tama preda mnom je počela da se prosvetljava', napisao je Plank u svojoj besedi prilikom dobijanja Nobelove nagrade. Dolaze uzbudljivi trenuci kada tajne Prirode skidaju veo pred oštroumnosću genija.

Prema klasičnim teorijama, električni naboj u periodičnom kretanju sa frekvencijom ν , može emitovati i apsorbovati na kontinualan način elektromagnetno zračenje te iste frekvencije. Plank je imao vanrednu ideju da treba napustiti klasičnu tačku gledišta i pretpostaviti da aktivan električni naboj sa periodičnim kretanjem frekvencije ν može emitovati i apsorbovati radijacionu energiju samo u određenim iznosima $h\nu$, gde je h nova konstanta. Oslanjajući se na tu hipotezu, koja je u to vreme izgledala veoma čudna, on je uspeo da pokaže da funkcija $\rho(v, T)$ dobija sledeći oblik:

$$\rho(v, T) = 8\pi h \left(\frac{v}{c}\right)^3 \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

gde su k – Bolcmanova konstanta, a h – novouvedena konstanta.

To je slavna Plankova formula, koja se idealno poklapa sa rezultatima eksperimenata. Za male vrednosti v/T formula se slaže sa zakonom Rejli–Džinsa, a za velike vrednosti v/T ona se poklapa sa empirijskom formulom,

$$\rho(v, T) = 8\pi h \left(\frac{v}{c}\right)^3 \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}}}$$

koju je ranije predložio Vin. Takođe je lako pokazati da je Plankova formula u saglasnosti sa termodinamičkim zakonima Stefana i Vina, koje smo napred pomenuli.

Konstanta h , koja se od tada – od pojave Plankove formule – s pravom naziva Plankova konstanta, ima po tome kako je definisana, fizičke dimenzije

energije pomnožene vremenom, ili količine kretanja pomnožene dužinom, $M \cdot L^2 \cdot T^{-1}$, gde je M – masa, L – dužina, a T – vreme (u ovoj definiciji T ne označava apsolutnu temperaturu). Ona dakle, ima dimenzije veličine koja se katkad u mehanici naziva dejstvom i koja radi po principu minimuma dejstva. Konstanta h igra ulogu neke vrste jedinice u dejstvu atoma i Plank je pokazao da je to njen pravi smisao. Odatle joj je i naziv kvant (količina) dejstva (na francuskom quantum d'action), kao i naziv za teoriju – kvantna teorija (théorie des quanta), koji je bio ubrzo uveden i koji se svakim danom koristi u sve široj oblasti fizike.

Upoređivanje eksperimentalnih krivih funkcije $\rho(v, T)$ sa Plankovom formulom dopušta određivanje konstanti k i h . Za prvu (k), Plank je ponovo našao vrednost već poznatu iz kinetičke teorije gasova, a za drugu on je 1900. izračunao vrednost

$$h = 6,54 \cdot 10^{-27} \text{ erg s (1 J = } 10^7 \text{ erg)}$$

Danas je poznat veliki broj metoda kojima se može izračunati vrednost h polazeći od potpuno različitih pojava. Sve te metode vode do vrednosti vrlo bliske prethodno izračunatoj Plankovoj, naime:

$$h = 6,623 \cdot 10^{-27} \text{ erg s}$$

Sasvim sigurno, mi nismo u stanju da stvorimo jasnu predstavu o tajanstvenom kvantu koji je tako delako od naše intuicije, ali smo sigurni da je njegov značaj u prirodi bitan i da celokupna fina struktura materijalnog sveta počiva na njemu. Pojava kvanta u nauci proizvela je konceptualnu revoluciju, čiji potpuni značaj još tačno ne možemo da procenimo, ali koja, daleko prevazilazeći ono što je realizovala teorija relativnosti, predstavlja jedan od najznačajnijih zakreta u istoriji ljudske misli. Upravo zbog toga, mada je ponekad uzmicao pred posledicama sopstvenih ideja, Plank se genijalnim otkrićem kvanta svrstao među najveće fizičare svih vremena".

Kraj citata prema lit. [1].

Sada iznosimo kratak prikaz rasprave na Solvej kongresu 1911. godine uz citate prema lit. [2]. Revolucija u nauci koju je teorija kvanta donela, nije prihvatana od strane najvećih fizičara tog doba bez oklevanja i kolebanja. Nekoliko navoda sa Kongresa pokazaće kakva je duhovna zabuna nastala među fizičarima, koju je izazvao novi pojam u fizici.

Sam Plank u toku svog izlaganja okleva da napusti osnove tadašnje nauke: "Kada se razmišlja o tome da je Maksvelova elektrodinamika potpuno eksperimentalno potvrđena najdelikantnijim pojavama interferencije, kada se razmišlja o izvanrednim teškoćama do kojih bi njeno potpuno napuštanje dovelo u svim teorijama električnih i magnetnih pojava, oseća se odvratnost prema rušenju njenih fundamenta. Iz tog razloga ćemo u onome što sledi

ostaviti po strani hipotezu kvanta svetlosti, utoliko pre što je njen razvoj još na početku."

Sledi prikaz nekoliko diskusija o Plankovom radu među kojima se zapaža diskusija Anri Poenkarea u pogledu veličine otkrića koje treba oceniti.

Poenkare: "Pojmovi atomi materije, ili atomi elektriciteta mogu se razumeti, jer postoji održanje materije i elektriciteta; isto tako razumeli bismo i atome energije, jer postoji održanje energije, ali koliko imamo prava da kažemo da postoji održanje dejstva?

(...)

Ono što nova istraživanja kako izgleda dovode u pitanje nisu samo fundamentalni principi mehanike, to je i nešto što nam je dosad izgledalo nerazdvojivo od samog pojma prirodnih zakona. Da li ćemo moći da te zakone i dalje izražavamo u obliku diferencijalnih jednačina?

Sa druge strane, u diskusijama koje smo upravo čuli zapanjuje me da se ista teorija ponekad oslanja na principe stare mehanike, a ponekad na nove hipoteze koje su njihova negacija; ne sme se zaboraviti da se radi o dvema kontradiktornim premisama".

Briluen (Brillouin): "Pokušaću da rezimiram utiske o pročitanim radovima, a pogotovo o našim diskusijama. Može biti da će moj zaključak izgledati uzdržan najmlađima među nama, ali takav kakav je meni izgleda vrlo važan. Izgleda sigurno da će odsada biti potrebno da se u naše fizičke i hemijske koncepcije uvede diskontinuitet, tj. element koji varira u skokovima o čemu do pre nekoliko godina nismo imali nikakvu ideju. Kako treba to uvesti? To je ono što ja teže mogu da shvatim. Da li će to biti u prvobitnom obliku koji je predložio Plank, uprkos teškoćama do kojih dovodi, ili u Zomerfeldovom (Sommerfeld), ili u nekom drugom obliku koji tek treba pronaći? Ja o tome još ništa ne znam; svaki od tih oblika prilagodit će se drugim. Treba li ići mnogo dalje i ispreturati same temelje kako magnetizma tako i klasične mehanike, umesto da se ograničimo na prilagodavanje novog diskontinuiteta staroj mehanici? Ja u to pomalo sumnjam i, mada su pojave na koje smo usmerili pažnju važne, ne mogu da zaboravim ogroman broj fizičkih pojava za čiju su koordinaciju klasična mehanika i elektromagnetizam tako dobro prilagodljive; to je činjenica koja nikako ne bih hteo da bude kompromitovana, makar ja izgledao vrlo konzervativan nekima od naših kolega. Sama nesigurnost u pogledu oblika i širine transformacije koju treba izvršiti, bilo da je reč o evoluciji ili potpunoj preradi, snažan je stimulans, pa je sigurno da će nas ta briga pratiti tokom dugih nedelja i da će se svaki od nas strastveno upustiti u rešavanje teškoća čiji su neminovni karakter i značaj u tolikim oblastima fizike i hemije pokazale naše diskusije."

Nernst (Nernst): "Možda će jednog dana moći da se postupak proračuna koji nam je donela tako uspešna kvantna teorija zameni nekom novom koncepcijom, kojom bismo se vratili na pojam promena energije kontinualnim putem kod oscilacija atoma; na primer, modifikujući čistu mehaniku za ekstremne slučajeve do kojih dolazi u kretanju atoma (frekvencije milijardi puta u sekundi).

Izgleda da atomi pružaju iznenađujuće otpore za sva kretanja na putanjama sa velikim krivinama i za male brzine; bar mi izgleda da opšti smisao pojava ukazuje na to.

Ako pokušamo da to formulišemo na jedan vizoriran način, moglo bi se reći da na materijalnu tačku pri kretanju zakrivljenom putanjom neće više delovati centrifugalna sila:

$$K = mV^2/\rho$$

nego sila:

$$K = \frac{mV^2}{\rho} \frac{a/\rho V}{\log(1 + a/\rho V)}$$

gde je m – masa, V – brzina, ρ – poluprečnik krivine, a – prirodna konstanta. Mogli bismo dakle da sebi predstavimo da je njena inercija porasla za faktor:

$$\frac{\frac{a}{\rho V}}{\log\left(1 + \frac{a}{\rho V}\right)}$$

Može se tako doći do formule Planka dodavanjem različitih drugih hipoteza, ali se nailazi na vrlo velike teškoće ako se pokuša da se razradi nova mehanika zasnovana na takvim stanovištima".

Poenkare ima isto mišljenje: "Pre nego što usvojimo diskontinuitete koji nas prisiljavaju da napustimo uobičajene izraze za prirodne zakone u formi diferencijalnih jednačina, bolje bi bilo pokušati da se ide putem koji je predložio Nernst. To dovodi do pretpostavke da masa, umesto da bude konstantna, ili zavisi samo od brzine, kako je predložio Nernst, zavisi takođe i od ubrzanja ako je ono vrlo veliko."

Briluen: "Ja zaista verujem da se radi o novom diskontinuitetu koji se nameće u našim razmišljanjima. Nešto što je do sada bilo tretirano kao promenljiva sa kontinualnim variranjem, pojavljuje se sada u određenim okolnostima kao promenljiva samo sa skokovitim variranjem. Koja je to veličina? U kojim okolnostima variranje prestaje da bude kontinualno? To još nismo razjasnili. Dodajem da nije baš zadovoljavajuće biti prinuđen da se diskontinuiteti upoznaju preko pojava kontinualnog izgleda, i to uvođenjem na samom početku jedne teorije koju bismo zatim poništili uz pomoć statističkog razmatranja. Ako bi se moglo zamisliti nešto što bi omogućilo izvorno shva-

tanje diskontinuiteta, to bi bilo mnogo više presudno i instruktivno.

Takva želja izgleda nestvarna, ali je ona slična želji koju smo imali pre nekoliko godina, a danas je tako čudesno ostvarena, naime da se broje pojedinačni atomi helijuma koje emituje radijum".

Lanževen (Langevin): "Meni izgleda važno napomenuti da je, i pored teškoća sa kojima se sukobljavamo, srećna ideja Planka već omogućila otkrića nepredviđenih relacija, kao što je na primer veza između specifične toplote i optičkih perioda. To je značajan progres, koji je sasvim skoro realizovan i koji potiče od teorije kvanta i pored sve nepreciznosti njenog sadašnjeg oblika. Najveća usluga koju može učiniti jedna teorija je da dovede do takvih otkrića, a ova se, iako još u povoju, već pokazala izrazito korisna".

Završen prikaz rasprave na Solvej kongresu prema lit. [2].

Na kraju ovog izlaganja o istorijskim uslovima i problemima pri nastajanju i prihvatanju teorije kvanta prikazaćemo jedan od mogućih puteva kojim je možda išao genijalni fizičar pri definisanju analitičkog izraza za spektralnu raspodelu energije pri ravnotežnom termičkom zračenju. Plank je imao na raspolaganju izraz za raspodelu atoma (molekula) po energijskim nivoima, odnosno po elementima faznog prostora, gde imamo za n -ti nivo energije ($E = E_n$) verovatnoću $w_n = \text{const} \cdot e^{-E/(kT)}$ da će se u elementu (ćeliji) faznog prostora dF naći atom (molekul) energije E_n i gde je $\sum w_n = 1$. Imao je i Džins–Rejljev zakon, do koga je i sam u analizama dolazio:

$$\rho(v, T) = \frac{8\pi v^2}{c^3} kT$$

gde je $kT = \bar{E}$ prosečna energija linearnog oscilatora (atoma), koja je izvedena iz spektralne raspodele energije zračenja u toplotnoj ravnoteži gasova. Neadekvantnost izraza za \bar{E} bila je, prema proceni Planka, odgovorna za bitna odstupanja izračunatih vrednosti ρ od eksperimentalno izmerenih, a za visoke vrednosti v . On je pretpostavio da \bar{E} zavisi od v . Pošao je od izraza za energetske nivoe $E_n = n \cdot v$, gde je n – ceo pozitivan broj koji za najniži nivo energije ima vrednost $n = 1$, dok je h nova konstanta, koju je on izračunao. Ove pretpostavke su omogućile izvođenje novog izraza za \bar{E} (pretpostavimo po postupku izloženom u [3] str. 308–311), koji sada izgleda:

$$\bar{E} = \frac{hv}{e^{hv/kT} - 1}$$

Kada se taj izraz stavi u Rejli–Džinsov zakon umesto kT dobija se čuvena Plankova formula.

Smatram kao dužnost da u okviru ovog članka dam barem najkraći izvod iz biografije utemeljivača

kvantne teorije, velikana Maksa Planka, koji je rođen 23. aprila 1858. godine u Kilu (Kiel), Šlezvig-Holštajn (Schleswig-Holstein), Nemačka.

Potiče iz akademske porodice. Otac Julius Wilhelm Plank (Julius Wilhelm Planck) bio je profesor ustavnog prava na univerzitetu u Kilu, dok su njegov deda i pradeda bili profesori teologije na univerzitetu u Getingenu (Göttingen). Njegova majka Ema Pacig (Emma Patzig) bila je druga žena njegovog oca. Rođen je u brojnoj porodici, kao šesto dete. Tradicionalno je vaspitavan sa velikim poštovanjem prema školi i institucijama i sa skromnim i velikodušnim ponašanjem prema okolini.

Osnovno i srednje obrazovanje je stekao u Kilu i Minhenu (München). Bio je dobar đak, tako da u jednom školskom izveštaju iz 1872. godine o njemu piše: "Podržavaju ga svi: profesori, đaci, ..., uprkos detinjastim postupcima. Vrlo je bistar, logički um koji mnogo obećava". Opređenije prema fizici i matematici iskazao je pred završetak srednje škole, kada je kod njega ljubav prema prirodnim naukama razvio profesor Herman Miler (Hermann Müller). Tada je sa divljenjem počeo da posmatra apsolutnost prirodnih zakona, kao što je zakon o održanju energije.

Upisao se na Minhenski univerzitet 21. oktobra 1874. godine i opredelio se za studije fizike, iako je profesor koji mu je davao časove pripreme iz fizike govorio da je fizika dovršena nauka i da tu neće imati šta da istražuje. Plank je dao sledeće objašnjenje svog izbora: "Priroda je nezavisna od čoveka, ona je apsolutna. Traganjem za zakonima apsolutnosti ostvaruje se moj život". Važno je istaći da je u vreme njegovog studiranja, studentima bilo omogućeno prelaženje sa jednog na drugi univerzitet bez problema, čak su bili podsticani da, saglasno svom interesovanju, odaberu za sebe najbolje profesore. Plank je prešao na Berlinski univerzitet, gde su mu profesori bili, pored ostalih poznatih naučnih veličina: Vajerštras (Weierstrass), Helmholtz (Helmholtz) i Kirhof (Kirchhoff). To je bio važan period njegovog obrazovanja. Posebno je na njegov dalji razvoj uticao objavljen rad Rudolfa Klauzusa (Rudolf Clausius) o termodinamici. Opet ga je zadivila priroda – drugi zakon termodinamike. Zbog toga je kasnije radio doktorsku disertaciju pod naslovom: Drugi zakon mehanike, teorija toplote.

Doktorirao je na Minhenskom univerzitetu jula 1879. godine u 21. godini života. Ubrzo zatim, kada je potvrđena njegova teorija veze između mehaničke energije i toplote kao nepovratni (entropijski) proces, 1880. godine dobio je zvanje privatnog docenta Minhenskog univerziteta. To znači da je imao pravo da drži predavanja, ali Univerzitet nije imao novaca da mu to plati. Pet godina je pod tim uslovima radio, a roditelji su ga pomagali. U maju 1885. godine je postavljen za profesora teorijske fizike u Kilu. U tom periodu je objavio tri značajna rada iz fizičke hemije i termoelektriciteta. Posle smrti Kirhoha, Berlinski uni-

verzitet je tražio jednog od vodećih fizičara da ga zameni i da saraduje sa Helmholtzom. Plank se prijavio i prihvaćen je kao kandidat posle odbijanja Bolcmana i Herca (Heinrich Hertz), koji nisu pokazali interes za to mesto. Na predlog Helmholtza, primljen je na filozofski fakultet kao čovek sa originalnim idejama koji sledi svoj put.

Plank je bio postavljen za vanrednog profesora teorijske fizike Univerziteta u Berlinu gde je 29. novembra 1888. godine postavljen za direktora Instituta za teorijsku fiziku, a za redovnog profesora 23. maja 1892. godine. Na tom mestu je ostao sve dok se sam nije povukao 1. oktobra 1927. godine. Nobelovu nagradu za svoja dostignuća dobio je 1918. godine.

Imao je veliki broj prijatelja iz različitih naučnih i drugih oblasti života, a s obzirom na njegovu ljubav prema muzici, bavio se i organizovanjem muzičkih koncerata u svojoj kući.

Porodično je bio nesrećan čovek. Prva žena Marija (Marrie Merck) je umrla 17. oktobra 1909. godine. Imali su četvoro dece – dva sina Ervina (Erwin) i Karla (Karl) i dve ćerke bliznakinje Margaretu (Margarete) i Emu (Emma). Posle dve godine ponovo se oženio Margom fon Heslin (Marga von Hösslin), nećakom svoje prve žene i sa njom imao jednog sina Hermana (Hermann). Mlađi sin od prve žene Karl je poginuo u prvom svetskom ratu, a starijeg Ervina ubili su nacisti 1945. godine kao zaverenika u pokušaju atentata na Hitlera. Obe ćerke bliznakinje su umrle pri porođajima, Margareta 1917., a Ema 1919. godine.

Važno je još napomenuti da je on, još od detinjstva, često govorio da se grozi ratova. Ratovi su mu donosili samo nesreće. U II svetskom ratu njegova kuća u Berlinu je uništena i sa njom njegove zabeleške, što je bio veliki gubitak i za njega i za nauku. Posle tog strašnog rata njega su pozvali na Univerzitet u Getingenu (Göttingen) sa molbom da organizuje oporavljanje nauke u Nemačkoj. Iako je imao 87 godina, on je to učinio.

Velikan nauke Maks Plank je umro 4. oktobra 1947. godine u Getingenu. Njemu u čast, a kao zahvalnost za sve što je učinio za svoj narod i za nauku u celini, njegova domovina Nemačka se odužila dajući Institutu za fiziku u Berlinu njegovo ime. Treba imati u vidu da Nemačka ulaže velika sredstva u nauku i posebno brine o tom Institutu, tako da je to jedna od najznačajnijih naučnih ustanova u svetu.

LITERATURA

- [1] Louis de Broglie, Savants et decouvertes, Albin Michel, Paris, 1951.
- [2] A. Pacault, Éléments de thermodynamique statistique, Masson, Paris, 1963
- [3] Ivan Supek, Teorijska fizika i struktura materije – drugi deo, Školska knjiga, Zagreb, 1952.