

PRI LA NUNA STATO DE LA KVANTUMTEORIO DE KAMPOJ DE ELEMENTAJ KORPUSKLOJ INTERAGANTAJ

de F. J. BELINFANTE,

Purdue University, LAFAYETTE (Indiana), Usono.

Por kompreni la lastjarajn rezultojn en la kvantumteorio de kampoj de elementaj korpuskloj, estas bone, unue resumi la staton de tiu teorio antaŭ kvin jaroj. Fakte jam antaŭ dekkvin jaroj oni sciis ke tiu teorio ebligas al ni klarigi tiajn fenomenojn, kiaj estas la elsendado de la spektroj de atomoj kaj molekuloj, la COMPTONA disĵetado de fotonoj fare de elektronoj, ktp. Poste la teorioj de YUKAWA, KEMMER kaj aliaj pri la perado de mezonoj en la interagado de nukleonoj (t.e., de neŭtronoj kaj protonoj) ŝajnis malfermi tute novan fruktodonan teronon por aplikado de la principoj de l' kvantumteorio de kampoj. Tamen tiu teorio neniam kondukis al plena interkonsento inter teoriaj antaŭdiroj kaj eksperimentaj faktoj. Tio ne estas miriga, ĉar en tiu tempo oni havis nek sufiĉan eksperimentan bazon por decidi pri la definitiva formo de mezonteorio, nek eĉ havis sufiĉe klaran koncepton pri la naturo de la mezonoj trovitaj en kosmaj radioj: la scion ke la „mezonoj” oftaj en kosmaj radioj estas fundamente diferencaj de la „pi-mezonoj” de nukleona interagado oni ekhavis nur antaŭ iom pli ol du jaroj.

Krom ĉi tiuj praktikaj malfacilaĵoj de mezonteorio, ankaŭ ekzistis jam dekomence la fundamentaj malfacilaĵoj rilataj al la diverĝado de la „mem-interagadoj”. Ekzemple, laŭ la nuna teorio elektrono povus virtuale elsendi fotonon kaj reabsorbi ĝin. Tia perturbo de la stato de libera elektrono fare de la interagado kun la elektromagneta kampo kaŭzas aldonan termon en la energio, la tiel nomatan mem-energion de la elektrono, por kiu tamen proksimumadaj kalkuloj donas kiel rezulton nur diverĝantan integralon. Estas eble ke tia diverĝado estas kaŭzata almenaŭ parte de neĝusta proksimumada metodo. Tamen ankaŭ estas evidente ke, krom tio, alia manko ekzistas en la teorio, pri kiu KRAMERS atentigis fizikistojn jam antaŭ dek du jaroj: Se ekzistus ia mem-energio de elektrono, ĝi ekzistus eĉ se neniu ekstera kampo trafus la elektronon; tial ĝia efiko jam devus esti subkomprenata en la priskribo de libera elektrono. Tiu efiko almenaŭ parte konsistis el ŝajna pligrandigo de la elektrona maso. Tial la elektronan mem-energion oni devos ellasi el (aŭ subtrahi de) la esprimo trovata por la tuta energio de elektrono en elektromagneta kampo, se la konstanton en tiu esprimo reprezentantan la mason de libera elektrono oni volas konsideri kiel la mason trovitan pere de eksperimentoj pri elektronoj. Eĉ se formale oni trovas infinitan valoron por tiu „mas-termo” en la mem-energio, ĝi simple estu subtrahata.

Same oni povus pritrakti alian malfacilaĵon: tiu de la infinita polariziĝo de vakuo. Tiu fenomeno, kies ekziston la nuna teorio sugestias, povas esti priskribata kiel kreigi de paroj de pozitono kaj negatono (pozitiva kaj negativa elektronoj) en ĉiu elektromagneta kampo. La elektra ŝargo de tiuj paroj (la „polariziĝo” de la vakuo) koncentriĝas apud la ŝargoj origine kaŭzintaj la elektromagnetan kampon. Tial tiuj originaj ŝargoj ŝajnas esti modifitaj denove per infinita kvanto. Tamen la aldonita ŝargo eksperimente ne estus distingebla de la origina ŝargo. Tial oni fakte devus subtrahi ankaŭ ĉi tiujn infinitajn rezultojn de la esprimo por la tuta ŝargo, se la konstanton e en tiu esprimo reprezentantan la elektronan ŝargon oni deziras konsideri kiel la ŝargon eksperimente mezuritan.

La metodon ĉi tie diskutitan oni nomas la metodo de „renormigado” de la elektrona maso kaj ŝargo.

Kvankam principe ĉi tiuj ideoj ne estas tute novaj, tamen estis malfacile apartigi el infinita esprimo de la tuta energio aŭ ŝargo la infinitan termon subtrahotan, en tia maniero ke la finita diferenco estu determinita unusence. Por kvantum-elektrodinamiko ĉi tiun problemon solvis SCHWINGER, uzante „manifeste kovariantan” kampan teorion (teorion de la „interagada reprezentajo”) identan kun la „supermultatempa teorio” jam pli frue formulita de TOMONAGA. La teorio baziĝas sur la supozo ke la ĝisnuna kvantum-elektrodinamiko estas kredinda kaj ke ne estas absurde subtrahi infinitan (diverĝan) kvanton de la teoria esprimo same diverĝa por energio (aŭ por ŝargo), traktante la substrahatan infinitan kvanton kiel „nur parton de la finita eksperimenta energio (ŝargo) de libera elektrono”. La plej granda sukceso de ĉi tiu teorio konsistas en la klarigo de kelkaj delikataj efektoj kaŭzataj de interagado inter la radiada kampo kaj elektronoj ligitaj en atomoj; ekz. la famkonata LAMB-RETFERFORDa delokiĝo de la hidrogenaj fajnstukturaj¹⁾ linioj, kiu estis klarigata kiel rezulto de la diferenco inter la infinita mem-energio de la radianta elektrono en la elektrostatika kampo ĉirkaŭ la atomkerno, kaj la subtrahenda mem-energio de radianta elektrono libera. Sufiĉe korektan kalkulon de tiu efiko jam faris BETHE en 1947 tute ne uzante la subtilan teorion de TOMONAGA kaj SCHWINGER; kaj antaŭ nelonge FRENCH kaj WEISSKOPFF publikigis pli ekzaktan klarigon de ĉi tiu efiko, kiu donas ĉiujn detalojn de la SCHWINGERA rezulto, sed en kiu oni uzas esence nur la bone konatajn metodojn de ordinara perturba kalkulado kaj subtrahada teorio, tiel montrante ke la teorio de TOMONAGA kaj SCHWINGER ne aldonas ion esence novan al nia teorio, sed estas nur konvena formalismo por fari la kalkulojn en pli-malpli neta maniero.

Oni nun esperis, ke la samaj metodoj ankaŭ montriĝos efikaj en mezonteorio, kie la nombro de diverĝadoj en la kalkuloj estis eĉ pli

granda ol en kvantum-elektrodinamiko. La rezulto de la laboro de elstaraj teoriaj fizikistoj ne sufiĉas por elimini la diverĝojn el mezon-teorio. Eĉ por skalaraj kaj pseŭdoskalaraj mezonoj, pri kiuj oni dum kelka tempo opiniis ke la metodo efikas, la angla fizikisto DYSON dum vizito al Usono trovis ke diverĝoj en la kalkuloj por la probableco de disĵetado de mezonoj fare de mezonoj ne estas elimineblaj en ĉi tiu maniero. Tio montras ke — eĉ por tiuj, kiujn ne ŝokas la pritraktado de infinitaĵoj kvazaŭ ili estas parto (aŭ eĉ nur malgranda parto) de finita konstanto — la teorio de renormigado ne plu estas akceptebla kiel panaceo por la mem-interagadaj malfacilaĵoj.

Estas rimarkinde, ke la origina argumento de KRAMERS nur pravas ke por liberaj korpuskloj efikoj de mem-interagado fakte ne ekzistas en la naturo, se oni konsideras la konstantojn aperantajn en la formalismo kiel konstantojn „eksperimentajn”. Tio ŝajnas indiki ke oni devus ne kredi konvencian kvantum-elektrodinamikon kun nur posta subtraho de la rezultantaj infinitaĵoj, sed prefere devus reformi ĉi tiun kvantum-elektrodinamikon en tia maniero, ke dekomence la infinitaĵoj ne plu aperos, t.e. ke la parto subtrahenda de la mem-interagado estu rekonata dekomence kaj estu tuj ellasata el la kalkuloj. Kohereca²⁾ tia teorio tamen ne jam ekzistas.

Ekzistas pluraj ideoj neprecizaj pri metodoj, laŭ kiuj tia teorio eble povos esti konstruata. Mi nur mencias la ideojn de HEISENBERG pri „fundamenta longo” (naturkonstanto kun dimensio de longo), kaj pri la „S-matrico”, kiu devus „priskribi” prefere ol „klarigi” disĵetadajn fenomenojn. Krom pri ĉi tiuj ne-precizaj programoj mi ŝatus atentigi la leganton pri tria ne-preciza programo.

Por klarigi ĝin, ni unue direktu nian atenton al alia problemo: tiu de la transverseco de la ondoj de lumo. Ĉi tiu problemo jam antaŭ dudek jaroj estis solvita de FERMI. Li montris ke, el la relativece kovarianta kvantum-elektrodinamiko kun ĝiaj elektromagnetaj ondoj skalaraj kaj laŭlongaj same kiel transversaj, oni povas dedukti la DIRACan kvantumteorion de radiado, se la LORENTZ-kondiĉo por la elektrodinamikaj potencialoj estas alprenata kiel kondiĉo altrudenda al la SCHROEDINGERa situacia funkcionalo. (Ne estis eble alpreni ĝin kiel ordinaran q-nombran rilaton). Estas vere ke tia altrudo de LORENTZa kondiĉo al la situacia funkcionalo kaŭzas matematikajn malglataĵojn, se oni ne tuj komplete eliminas la skalaran kaj la laŭlongan kampon; ĉar ĝi igas la situacion funkcionalon ne en ordinara maniero normigebla. Tamen ĉi tiu FERMIa metodo estas sufiĉe efika kaj estis la bazo de preskaŭ ĉiu moderna laboro sur la tereno de kvantum-elektrodinamiko.

Tamen la metodo estas tute nenatura, ĉar ĝi unue priskribas la elektromagnetan kampon per q-nombroj, kiuj priskribas kampon kun tro granda

nombro da gradoj de libereco (inkluzivante la skalarajn kaj la laŭlongajn ondojn), kaj poste re-eliminas ilin per la kroma kondiĉo; do, pro tio ke tiuj troaj gradoj de libereco tute ne ekzistas en la naturo, la q-nombroj de tia teorio ne priskribas ian realaĵon.

La nura kialo por enkonduki tiajn ne-realecajn q-nombrojn estas en la hipotezo, ke la kampaj ekvacioj por la potencialoj estu esprimeblaj en manifeste-kovariante relativeca formo. La enkonduko de potenciala „kvarvektoro” estas la ĉefa kaŭzo de la ne-natureco de la teorio. PAULI rekonis tiun fakton jam kiam li verkis sian faman artikolon por la *Handbuch der Physik* (volumo 24/1), kaj tie donis formon de kvantum-elektrodinamiko tute diferenca de la kutima. Li ne uzis ian LORENTZ-kondiĉon, kaj lia elektromagneta kampo en neniu stadio de la teorio havis pli multajn gradojn de libereco ol ekzistas en la naturo. Tamen lia teorio ne estis tute kompleta, ĉar li bazis ĝin sur la malnova ondomekanika teorio, en kiu nur finita nombro da elektronoj kun negativa ŝargo ekzistas kaj estas priskribataj pere de siaj individuaj q-nombraj koordinatoj en konfiguracia spaco. Ŝajnas ke tia teorio ne estas ĝeneralligebla, se oni deziras enkonduki pozitonan teorion, (t.e. la DIRACa teorio de „truo” en kontinuo de statoj de negativa energio).

Antaŭ nelonge, mi sukcesis certagrade fari ĉi tiun ĝeneraligon de la PAULIa teorio ankaŭ por pozitona teorio. Siatempe la detaloj estos publikigataj en la anglalingva faka gazetaro. En ĉi tiu teorio kompreneble neniu q-nombroj de koordinatoj de individuaj elektronoj rolas kiel observebloj. La distribuo de pozitivaj kaj negativaj elektronoj en spaco estas priskribata precipe per la q-nombroj de la ŝarga kaj la energia kaj movkvanta densoj kaj kurentaj densoj. Interesa punkto en tia teorio estas ke la nenatureco de ne-ekzistantaj gradoj de libereco estas tute evitata per rezignado je la manifesta kovarianteco de la kampaj ekvacioj. Ankaŭ ŝajnas ke ne ekzistas ia Lagranĝiano por tia teorio. Kvankam la q-nombraj kampaj variabloj tute ne plu kondukas kiel tensoroj aŭ undoroj (spinoroj) dum LORENTZ-transformadoj, tamen ĉiuj observebloj (tiaj, kiaj estas la densoj kaj kurentaj densoj supre menciitaj) ankaŭ en ĉi tiu teorio estas kovariantaj kvantoj (komponentoj de tensoroj).

Fakte, ankaŭ nur tio estas konkludebla el la eksperimentoj pruvantaj la validecon de la teorio de relativeco, kaj la konvencia hipotezo, ke kovarianteco ankaŭ devus ekzisti por kampaj variabloj ne rekte observeblaj, estas ĝeneraligo tute ne pravigebla.

Ĝuste tiu ĉi ĝeneraligo ĝis nun estis unu el la ĉefaj faktoj, kiuj limigis nin en la konstruado de kampaj teorioj por mezonoj kiel ankaŭ por fotonoj aŭ por elektronoj aŭ nukleonoj. Rekonante nun ke ĉi tiu limigo ne estas pravigebla, kaj tiel rekonante ankaŭ ke oni ne povas esperi la kompletan efikecon de la KEMMERa programo de konstruado

de kovariantaj skemoj de kampaj ekvacioj deriveblaj el Lagrangianoj, oni malfermas pli grandan terenon por estontaj teorioj, kovariantaj ne en formo sed tamen laŭ esenco; kaj eble ekzistas ia espero ke sur ĉi tiu pli vasta tereno oni fine trovos la teorion serĉatan, kiu evitos la infinitajn mem-interaĝadojn.

Laŭ la Parnasa Gvidlibro:

Fajna: 1. Konsistanta el tre maldikaj eroj; 2. Ekstrakvalita, pur-substanca; 3. Prezanta aŭ distinganta akre subtilajn diferencojn; 4. Plaĉe eleganta, distinginde bela.

Koheri: 1. Kunteniĝi, kunkroĉiĝi; 2. Interrilati, interkonformiĝi.

Kelkaj terminologiaj rimarkoj.

001.4 : 5

En sia traktaĵo pri la nuna stato de la kvantumteorio de kampoj de elementaj korpuskloj interagantaj, d-ro Belinfante plurfoje uzas la vorton „efekto”, imitante la naciajn lingvojn. Tamen laŭ Plena Vortaro la vorto „efekto” ne havas tiun signifon, kaj mi kredas ke ankaŭ Wüster tiel opinias. Kie en naciaj lingvoj en la faka lingvaĵo de fizikistoj oni parolas pri „effect” oni uzu en Esperanto, laŭ la kazo, „fenomeno” (Zeeman-fenomeno, Doppler-fenomeno), aŭ „efiko”. Sinjoro Belinfante defendas la uzon de la vorto „efekto” per la aserto ke la malkovro de tia „efekto” kaŭzis grandan efekton ĉe la tiamaj fizikistoj. Tio ja estas ebla, sed restas, ke la fenomeno kaj la efekto kiun ĝi kaŭzis ĉe la fizikistoj, estas du tute diversaj aferoj, kaj ke tial oni ne povas tiel pravigi la uzon de tiu vorto. Nur unu pravigo eblas: la naciaj lingvoj uzas la forman ekvivalenton de „efekto” por multaj fizikaj fenomenoj; oni do donu tiun signifon ankaŭ al la esperanta vorto. Via redaktoro estas kontraŭ. Kion opinias aliaj legantoj?

Aliaj disputadoj estas la vortoj „integralo” kaj „diferencialo”. Esperanto havas la verbojn „integri” kaj „diferencii”. Deriviĝas tute normale la vortoj „integraĵo” (integrilo, integroto), „diferenciaĵo”, „integraĵa kaj diferencaĵa kalkuloj”, k.t.p. Estas vere ke la naciaj lingvoj uzas la vortojn „integral” kaj „differential”, kaj ke multaj esperantaj vortaroj esperantigis tiujn, kaj donas „integralo” kaj „diferencialo”, sed tiuj vortoj kun tiuj ĉi sencoj estas tute superflujaj, kaj laŭ mi ilia uzo estas malrekomen-dinda. Enciklopedia Vortaro de Wüster donas aliajn sencojn al la radikoj „integral” kaj „diferencial”. Agnoskante ke Plena Vortaro estas internacie la plej multe uzata, ni tamen pro tio ne atribuu tro da pezo al ĝiaj eldiroj, kiuj sur la kampo de la scienca terminologio ja ofte lasas sufiĉe multe por deziri. Ni do uzu ĝin, sed ne senkritike. *La Redaktoro.*

ISAE-INFOJMOJ.

13. **Nova delegito.** Hispanujo: D-ro D. Llorens Sastre, C. Caballeros 9, Valencia.

14. **Komitato.** La societoj en Britujo kaj Nederlando rajtas elekti po 2 komitatanojn, kaj la membroj en ĉiu alia lando po 1 komitatano. Voĉdonrajta kaj elektebla estas ĉiu ISAE-ano kiu ensendis aliĝilon kaj jarkotizon por 1949 al la delegito aŭ rekte al ISAE. Se el lando sen delegito oni ne povas sendi monon al ISAE, por ĉi tiu fojo sufiĉas ensendo de aliĝilo. La unua komitata periodo estos 1950—1952 plus aŭtuno 1949.

Sendu antaŭ la 15 oktobro 1949 vian voĉon al la delegito (al ISAE se ne estas delegito). Skribu sur la voĉdonilo maksimume 3 nomojn kun la plej preferata unue. La unua nomo ricevos 3 poentojn, eventuala dua 2 kaj eventuala tria 1.

Cirkulero pri ĉi tiu afero estis en julio per la delegitoj sendata al la membroj.

15. **Enketoj.** En cirkuleroj al la delegitoj ni jam aperigis enketojn kiuj pro manko de loko ne povis aperi en Scienca Revuo. Ni provos daŭrigi la sistemon, kaj tiu kiu volas fari enketon sendu manuskripton al la sekretario de ISAE.

16. **Traduka kaj resuma servo.** Kiel jam estas anoncita en „Esperanto” ISAE starigis por siaj membroj tradukan kaj resuman servon, kiun prizorgas aŭ peras la delegitoj. La tarifo en respondkuponoj estas por resumita paĝo 3 rpk, por tradukita paĝo 5 rpk. Tio validas por paĝoj ĝis 40-liniaj. Por pli grandaj paĝoj responda plialtigo de la tarifo. La pago okazas rekte per respondkuponoj aŭ en landa valuto al la koncerna landa delegito.

17. **Elektroteknika vortaro.** Internacia Elektroteknika Komisiono en 1938 post longa laboro eldonis sian Internacian Elektroteknikan Vortaron, kie la terminoj aperis en 6 lingvoj: franca, angla, germana, hispana, itala kaj esperanto. Nun oni preparas novan eldonon en kiu oni kunprenos ankaŭ la rusan kaj la svedan lingvojn kaj krome unu slavan lingvon. Eventuale oni forigos esperanton. Ni devas malhelpi tian nuligon de la antaŭa venko. Nia delegito aŭ elektroteknikisto en ĉiu lando sin turnu al la landa elektroteknika komitato, kiu estas nacia komitato de IEC (International Electrotechnical Commission), kun peto ke oni konservu esperanton en la nova eldono. Asertu ke ISAE povos disponigi elektroteknikistojn kiuj ankaŭ estas bonaj lingvistoj.

18. **Esperanto-resumoj.** En nro 25/1948 de la norvega revuo Elektroteknisk Tidsskrift aperis artikolo de dir. Leif Stuedahl pri esperanto. En nro 16/1949 la redakcio deklaras ke nur 5 leteroj venis pro la artikolo,