

Diskussioon elektromagnetismi ja välja mõiste teemal

JJ on endine TTÜ õppejõud, elektrotehnika spetsialist. KT on Kalev Tarkpea.

JJ: Meie teadmiste piiratust ja meid ümbritseva lahtimõtestamise keerukust näitab see, et tänaseni pole Einsteini kuulsalt võrrandi $E = mc^2$ sisu lahtimõtestamisel ühisele arusaamisele jõutud. On kaks koolkonda: ühe meelest on mass kiirusest sõltuv, teise meelest mitte.

KT: Probleem pole mitte niivõrd arusaamade erinevuses, kui just sõnade erinevas tähhenduses. Selles, kas mõista *massi* all keha seisumassi või siis massi selles taustsüsteemis, milles keha liigub. Sama lugu on ka energiaga, sest mass ja energia on samaväärsed ning kahe erineva füüsikalise suuruse eksistents tuleneb vaid vaateleja meeleelundite spetsiifilisest piiratusest. Pealegi vaid väga väike osa professionaalsetest füüsikutest (tavakodanikest rääkimata!) mõistab lõpuni relativistliku füüsika olemust. Nimelt seda, et ruum ja aeg, mass ja energia ning kõik muu selline kraam on vaid inimlikud väljamõeldised, mida vaateleja kasutab looduse kirjeldamisel. Objektiivselt neid looduses ei eksisteeri. Kui kaks vaatelejat paiknevad erinevates oludes (liiguvad mingi kiirusega teineteise suhtes), siis nende kummagi "füüsikad" (koos pikkuste, aegade, masside ja energiaga) on möödapääsmatult erinevad. Füüsikute endi suutmatust mõista relativistlikku füüsikat tuleneb enamasti nende primitiivsest usust looduse objektiivsesse ja kõigile vaatelejatele ühesugusesse olemasolusse. Seetõttu füüsikute mõistus tõrgub leppimast lihtsa faktiga, et kummalgi vaatelejal on oma reaalsus koos seda kirjeldavate füüsikaliste suurustega ning mitte mingit "kõigile ühist" tegelikkust lihtsalt ei eksisteeri. Võib ka öelda, et suurema osa füüsikute ajudes istub jätkuvalt Newtoni absoluutse aja ning ruumi teooria, ükskõik kui palju nad ise ka ei räägiks relativistlikust füüsikast ning ei opereeriks selle valemitega. Oma osa füüsikute suutmatuses relativistlikult mõelda on minu arvates ka Puna-Piibliil (JJ poolt varem kasutatud termin) ja selles sisalduval leninlikul mateeria definitsioonil ("*..objektiivne reaalsus, mis eksisteerib sõltumatult...*").

JJ: Tihti on praegusaegsetes õpikutes protsesside sisulise analüüsi asemel formaalsed kirjanduslikud selgitused ka sel juhul, kui nende kohta koostatud matemaatilised seosed ise on väga täpsed ja kirjeldavad protsesse korrektselt.

KT: Ma ei nõustu *formaalsete kirjanduslike selgituste* niisuguse halvustamisega. Lõppude lõpuks on kogu füüsika vaid looduse mudelite süsteem. Loodusnähtuse mingi väga primitiivne mudel arvestab ainult kõige tähtsamaid katsefakte, kuid selle mudeli kasutamine on ikkagi põhjendatud, kui mudelist tulenevad ennustused on katsete või sihipäraste vaatluste teel tehtud mõõtmistega samas suurusjärgus. Iga keerulisem mudel (teooria) võtab arvesse täiendavaid katsefakte ja reeglina ennustab täpsemalt uusi katsetulemusi. Kuid mitte ükski mudel ei kirjelda loodust ammendavalt. Loodus on liiga keeruline selleks. Matemaatika on aga lihtsalt keel. Küll sobiv (piisavalt rangete reeglitega) keel füüsikaliste mudelite efektiivseks töötlemiseks, kuid matemaatika ise ei loo uusi mudeleid. Mitte ükski matemaatiline aparaat ei kirjelda *täiesti korrektselt* loodusprotsesse. Matemaatika võib korrektselt kirjeldada vaid looduse mingit kokkuleppelist mudelit, mitte loodust ennast.

JJ: Nii on õpetajad ja õpilased olukorras, kus protsess on matemaatiliselt kirjeldatud, kuid visualiseerimisest ja lahtimõtestamisest jääb vajaka. Järelikult tuleb matemaatilised seosed ja kirjanduslik selgitus lihtsalt pähe õppida.

KT: Jah, nii see on. Just seda ma nimetangi FLA õpikus sümbolpimeduseks.

JJ: Kõik inimesed, sõltumata sellest, kuidas nad seda endale teadvustavad, on mingil moel usklikud.

KT: Jah. Lisaksin, et see on ka täiesti vältimatu. Ka teadlased on usklikud selles mõttes, et nad peavad uskuma oma meetodisse. "Kui te mitte midagi ei eelda, siis ei saa te ka mitte midagi tõestada" ütles minu matemaatilise analüüsi õppejõud, kui ma olin esimese kursuse füüsikatudeng, sügisel 1975 ☺ Tsiteerin seda seisukohta siiani. Kogu mu tööine elu on seda ainult kinnitanud.

JJ: Elektromagnetvälja teooriat ja elektriahelate teooriat kasutades õnnestus edukalt lahendada peaaegu kõiki praktikas esile kerkivaid ülesandeid. Kui aga avastati, et jagamatul aatomil on siseehitus (aastad 1895 ... 1910), sukeldusid paljud teadlased tuumafüüsikasse, elektrit käsitlevad uuringud seiskusid ning sellega seiskus ja „kivistus“ ka elektrotehnika areng.

KT: Põhimõtteliselt olen nõus, aga sõna *tuumafüüsika* on siin liiga kitsas. Kuna selgus, et põhimeetod mikromaailma uurimisel saab olla vaid spektroskoopiline, siis läks eksperimentaalfüüsikas põhirõhk elektrilistelt meetoditelt üle optilistele. Üpris paratamatu asjade käik.

JJ: .. selle põhjustas arvamine, et elektriala suurkujud on kõik valdkonna põhiprobleemid ära lahendanud. Pisiprobleemide lahendamine aga noortele teadlastele reeglina kuigi ahvatlev ei ole. ... Alustavatele noortele võis see olla liiga keerukas, kogenud teadlastele aga tunduda väarikate suurkujude tehtud töö mitteastumisena. Selline olukord on paljuski püsinud tänaseni.

KT: Jah, see paljuski tõepoolest nii on.

JJ: Täpsema vaatluse alla väärivad võtmist ka neli elektrinähtuste mõistmisel segadust tekitavat voltides mõõdetavat suurust. Nendeks on elektromotoorjõud, pinge, potentsiaal ja elektrivälja tugevus. Ühiseks perenimeks võiks sobida **potentsiaal** (lihtsustatult energiatihedus vaadeldavas punktis)..

KT: Elektrivälja tugevust mõõdetakse mitte voltides vaid voltides meetri kohta. Kaks erinevat füüsikalist suurust. Elektrivälja energia ruumtihedus on aga juba kolmas, eelnevatest samuti erinev füüsikaline suurus, mida ühikusüsteemis SI mõõdetakse džaulides kuupmeetri kohta. Voldiga enam otseselt tegemist ei ole. Füüsika peab kirjeldama looduses toimuvaid **protsesse** ning looduses esinevate süsteemide **olekuid**. Protsessi kirjeldavaks füüsikaliseks suuruseks on **töö**, olekut kirjeldavaks suuruseks aga **energia**. Protsess viib süsteemi ühest olekust teise, mistõttu töö osutub kahe energia vaheks. Elektromagnetismis kirjeldab protsessi pinge, olukorda elektrivälja mingis punktis aga potentsiaal. Protsess viib süsteemi ühest olekust teise, mistõttu pinge on kahe potentsiaali vahe. Samas võib potentsiaale vaadelda kui pingesid mingi ühise kokkuleppelise nulltaseme suhtes. Kui elektrivälja tugevus kirjeldab elektrivälja **jõu** kaudu, mis laengut omavale kehale selles väljas võib mõjuda, siis pinge kirjeldab elektrivälja **töö** kaudu, mida see jõud võib ära teha ning potentsiaal – **energia** kaudu, mida laetud keha selles väljas võib omada. Niisiis on kõigil kolmel terminil (elektrivälja tugevus, pinge ja potentsiaal) oma kindel funktsionaalsus, millest ei saa üle ega ümber. Elektromotoorjõud on aga mõiste, mis kirjeldab elektrivälja osalusel toimuvat **ringprotsessi**. See on mõiste, mille järele tekib vajadus puhta pööriselektrivälja kirjeldamisel. Siis, kui nii laengukandjate suunatud liikumist takka lükkavad jõud (nn “kõrvaljõud”) kui ka seda liikumist takistavad (elektritakistust põhjustavad) jõud mõjuvad ühtlaselt kogu vooluringis. Teisisõnu – nad pole enam omavahel ruumiliselt lahutatud. Keemilise vooluallika kasutamisel nad ju **ON** lahutatud.

JJ: Raskusi on energia ja võimsuse mõistete eristamisega. Võimsust võib tõlgendada muundatava energia hetkväärtusena, mis võrdub voolu ja potentsiaalide vahe hetkväärtuste või efektiivväärtuste korrutisega. Viimasel juhul saame aga energia hetkväärtuse efektiivväärtusena.

KT: Võimsust võib tõlgendada muundatava energia **ajalise tuletisena**, aga mitte energia hetkväärtusena. Energiat me mõõdame džaulides või kilovatt-tundides, võimsust aga vattides. Kaks erinevat füüsikalist suurust. Jah, vooluringis eralduva võimsuse hetkväärtus võrdub voolutugevuse ja pinge hetkväärtuste korrutisega ning sedasama võime väita efektiivväärtuste kohta. “Raskused energia ja võimsuse mõistete eristamisega” on vaid inimestel, kes pole mõistnud, et võimsus on **ajaühikus** tehtav töö. Kui unustada ära ajaline aspekt, siis kipuvad energia ja võimsus tõepoolest omavahel segi minema.

JJ: Kas elektrienergiat või üldse energiat on võimalik piltlikult ette kujutada ja kus ta peidus on? Seni üldtunnustatud korrektset vastust pole..

KT: Kuis nii, et pole? Elektrienergia on elektromagnetvälja energia. Selle välja võime teha tööd elektrilaengut omavate kehade liigutamisel. Milles probleem? Minu jaoks pole siin midagi müstilist ega ebaselget. Nojah, kui asuda üldse eitama välja olemasolu, siis muidugi.. Aga milleks tekitada endale ise probleeme?

JJ: ..lihtsustatult peitub elektrienergia laengutes ja neid ümbritsevates energiaväljades.

KT: Ma ei mõista eriti selle lause sisu. Ilmselt tähistab sõna *laeng* siin laetud keha. Jah, laetud keha ümbritseb elektromagnetväli, mille erijuhtudeks on elektriväli ja magnetväli. Sellel väljal on energia. Kuid ma ei poolda mõiste *energiaväli* kasutamist. See on liiga tugevasti pseudoteadusliku (esoteerilise?) alatooniga termin. Igal füüsikalisel väljal on energia. Seega piisab täiesti mõistest *väli*. Milleks tekitada kahtlase maiguga liitsõna *energiaväli*? Ma ei näe, et sellest miski paremaks läheks.

JJ: Elektriahelates toimuvate energiamuundamisprotsesside visualiseerimise lihtsustamiseks võib osutuda otstarbekaks muuta üle 250 aasta vanust kokkulepet, milleks oli merevaigulisele „elektrivedelikule“ (elektron) miinusmärgi omistamine.... On täiendavaid võimalusi tõestada, et elektroni laeng on positiivne.

KT: Olen varsti 30 aastat õpetanud elektromagnetismi kursust väga erineval tasemel õppuritele, aga ma pole kunagi tajunud, et nende võime õpetatavat mõista tõsiselt takerduks elektroni laengu kokkuleppelise negatiivsuse taha. Elektroni laengu märgi valik on inimlik suva. Vali, kuidas tahad, aga kuidagi ju peab valima. On täiesti kama, kas metalljuhtmes reaalselt liiguvad aatomjääkide suhtes positiivsed või negatiivsed osakesed. Me isegi ei suuda ilma erivahenditeta (nt Halli efekt) kindlaks teha, kummad siis tegelikult liiguvad. Pooljuhis näiteks liiguvad nii positiivsed augud kui negatiivsed elektronid. Nad kohtuvad pn-siirdes, rekombineeruvad omavahel ning LED kiirgab valgust. Mis puutub põhjendusse stiilis “vesi voolab ju mäest alla”, siis ütleksin, et ka “ülemine” ja “alumine” on suhtelised mõisted. Seisa pea peal ja kõik ongi vastupidi.. ☺ Näiteks pooljuhis kasvab elektroni energia mingil skaalal ühes suunas, aga augu energia hoopis vastupidises suunas. Täielik sümmeetria. Mitte kumbki “pool” pole eelistatud.

JJ: Kas oled nõus, et üks energiatiheduse jaotus vastab elektronile, mis *pöörleb* (KT rõhutus!) aatomi tuuma lähiorbiidil, hoopis teine aga elektronile, millesse energia muundamise käigus on salvestunud kriitiline kogus lisaenergiat?

KT: Planetaarses aatomimudelis elektron tiirleb (liigub piki ringjoonelist orbiiti) ümber tuuma, mitte ei pöörle. Pöörlemisega võiks modelleerida elektroni spinni, mitte orbitaalset liikumist. Kogu planetaarne aatomimudel on aga vana ja ebaadekvaatne inimlik väljamõeldis. Planetaarmudel on otseses vastuolus energia miinimumi printsiibiga ja klassikalise elektrodünaamika seisukohaga, et muutuva kiirusega liikuv laetud osake peab kiirgama elektromagnetlainet, pidevalt selle peale oma energiat kaotades. Planetaarmudelit luues mõtlesid füüsikud ise välja elektroni kulgeva liikumise aatomis, aga see mõte oli täiesti vale. Elektroni liikumine aatomis ei ole mitte mingil moel kulgev liikumine. Ei ole ju olemas järjestikuseid asendeid. Seega pole olemas ka trajektoori. Elektroni liikumine aatomis on seisulaine, niisiis põhimõtteliselt võnkumine. Seisulaine pole ju mitte midagi muud kui lainefüüsika terminites kirjeldatud võnkumine. Sõna *orbiit* kasutamine lähtub planetaarmudelist ja on sama vale kui planetaarmudel ise. Kaasajal oleks korrektsem rääkida orbitaalidest kui elektroni kõrge leiutõenäosusega piirkondadest. Aga mis puutub lisaenergiasse, siis loomulikult olen nõus.

JJ: Looduses füüsikalised väljad puuduvad. Need on võetud kasutusele loodusnähtuste selgitamiseks seal, kus nähtuse olemust pole suudetud lahti mõtestada. Kõik vastastikmõjud, kaasa arvatud valgus, kanduvad edasi vaakumi materiaalses keskkonnas.

KT: Ma ei saa nõustuda katsega reanimeerida XIX sajandi teisel poolel aktuaalset “maailmaeetri teooriat”, vabanemaks vajadusest kasutada välja mõistet. Vastupidi, looduse koosnemine kahest põhimõtteliselt erinevalt käituvast algest, nimelt ainest ja väljast – on minu isikliku füüsikalise maailmapildi absoluutne nurgakivi. Rangem oleks muidugi rääkida fermionaal- ja bosonaalmateeriast, aga ma olen rohkem harjunud

kasutama kooliõpiku (lihtsustatud) terminoloogiat. Fermionaalmateriia (aine) allub tõrjutusprintsipile (Pauli printsipile), bosonaalmateriia (väli) aga mitte. Valgus pole mitte midagi muud kui seisumassita bosonid (fotonid), mis liiguvad mistahes fermionide suhtes absoluutkiirusega ("valguse kiirusega vaakumis"). Fotonid ei vaja oma eksistentsiks fermionaalmateriat (ainet). Kui siiski postuleerida niisugune vajalikkus (vaid selleks, et seda uurida või *lahti mõtestada* ? ☺), siis oleks see minu jaoks ilma igasuguse eksperimentaalse aluseta väljamõeldis.

JJ: Kahekümnenda sajandi alul teoreetilises füüsikas juurdus formaalsele matemaatikale tuginev seisukoht, mis eitas elektromagnetlainete leviks vajaliku kindla struktuuriga levikeskkonna (eetri) olemasolu. See kõrvaldas pikkadeks aastateks elektromagnetlainete levikeskkonna alased uuringud. Selle tulemusena puudub tänaseni selge pilt, kuidas levib valgus materjalides ja füüsikalises vaakumis (eetris).

KT: Mina ütleksin, et eetrihüpotees osutus lihtsalt mittevajalikuks. Kahtlemata leidis neid füüsikuid (ja mitte vähe!), kes üritasid jätkata "elektromagnetlainete levikeskkonna alaseid uuringuid". Stiimul selleks oli ju väga tugev. Nimelt soov vastikut (tavamõtlemisele ebameeldivat) relativistlikku füüsikat iga hinna eest ümber lükata. Ainult et .. kahjuks need uurijad ei suutnud mitte midagi mõistlikku välja uurida. Pole tänini suutnud, niipalju kui mina tean. Kõik seni korraldatud katsed kinnitavad ühemõtteliselt relatiivsusteooria kehtivust.

Siinkohal, st alates Sinu retoorilisest küsimusest "Kuidas kirjeldada elektriallika teket?", ma lõpetaksin konkreetsete lõikude kommenteerimise Sinu tekstis. Sõnakasutus muutub liiga erinevaks sellest, millega mina olen harjunud. Mis mõtet on diskuteerida, kui sõnad tähendavad erinevaid asju? Jah, ma saan lõpuks aru küll, mida on tahetud öelda. Saan, kuid ülisuure mentaalse pingutusega. Tekib küsimus, miks ma peaksin nii jubedalt pingutama? Jah, ma nõustun – see on elektrinähtuste alternatiivne kirjeldus. Kuid ma ei saa aru, mille poolest on ta parem üldlevinud kirjeldusest välja mõiste ning esteetiliselt nauditavate Maxwelli võrrandite kaudu. Mille nimel me peaksime tegema nii palju katselise kinnitusega *ad hoc* hüpoteese? Minule isiklikult ei saa mitte midagi selgemaks. Olen ka üpris pessimistlik selle suhtes, et õppur seda asja paremini vastu võtaks kui tavakäsitlust.

Ütleksin välja ka oma isikliku seisukoha igasugu "alternatiivteooriate" suhtes. Nende autorid suudavad reeglina väga selgesti osutada olemasoleva *mainstream*-teooria kitsaskohtadele. Teisi kritiseerida on tore, kuid ise midagi paremat välja pakkuda – tunduvalt raskem. Kui asume sama kriitiliselt uurima alternatiivteooriat, siis paraku selgub, et selle probleemid on veelgi suuremad. Asi pole saanud selgemaks. Ta on paraku läinud veel segasemaks.

KT täiendav kiri JJ-le: Tere! Lubasin Sulle vastata tänase päeva jooksul ja vastan siis.

Pean Sinust väga lugu kui targast ja ausameelsest mehest ning ei hinda Sinu juttu mingil juhul "jampsiks ja suurus hullustuseks". Ütleksin, et tegemist on alternatiivse vaatega elektrinähtuste teooriale ning sellisena tuleks seda asja ka võtta. Samas olen juba korduvalt öelnud, et füüsika on minu jaoks inimese kui vaateleja väljamõeldiste kogum looduse peamiste toimemehhanismide mõistmiseks. Üldaktsepteeritud mõistete-süsteemi asendamine mingi uue või teistsuguse süsteemiga on minu arvates põhjendatud vaid siis, kui:

- a) näidatakse selgesti ära, milles seisnevad senise süsteemi puudused ning
- b) näidatakse samaväärse selgusega ära, mille poolest alternatiivne vaatekoht aitab loodust paremini mõista.

Neid kahte asja mina Sinu jutust paraku selgesti välja ei loe. Ehk formuleerid need kaks asja lühidalt? Usun, et Sinu tekstis sisalduvad väärtused jõuaksid siis paremini pärale mitte ainult mulle vaid ka mistahes teisele lugejale.

Oma teksti alguses räägid Sa Puna-Piiblist. Mina väidan, et Puna-Piibliste uskujaid leidub loodusteadlaste hulgas arvukalt veel praegugi. Räägin Lenini materiia-definitsioonist, mida kõik nõuka-ajal hariduse saanud inimesed une pealt teadma pidid ja mis selle kord pähe õppinud inimeste teadvuses siiani edasi elab. See definitsioon kõlab järgmiselt: "Materiia on objektiivne reaalsus, mis eksisteerib sõltumatult maailma tunnetavatest subjektidest ja on neile antud nende aistingutes".

See jutt on minu kui relativistlikult mõtleva inimese jaoks lausjama. Miski eksisteerib looduses vaid seda-mööda, kuivõrd vaatleja saab selle objekti kohta aistinguid või siis registreerib sellelt objektilt pärinevaid signaale oma eksperimentaalseadmete abil. Sündmus, mille kohta mingi vaatleja pole (veel) saanud aistinguid/signaale, on **selle** vaatleja jaoks lihtsalt (veel) toimumata. Aga loomulikult võib seesama sündmus olla mõne **teise** vaatleja jaoks juba toimunud. Igal vaatlejal on oma personaalne "reaalsus", mis on määratud tema poolt saadavate aistingutega. Materialistlik kujutlus mingist "üldisest" või vaatleja-ülesest "objektiivsest reaalsusest" on soovunelm, väidan ma. See, et näiteks aja ning ruumi teemalised väljamõeldised on inimeste jaoks Maa peal üldiselt ühesugused, tuleneb vaid asjaolust, et absoluutkiirus c ehk "valguse kiirus vaakumis" (299792458 m/s) on juhtumisi väga suur. Inimlik nägemismeel pole suuteline tuvastama erinevusi vaatlejate personaalsete maailmapiltide või "reaalsuste" vahel. Inimese alateadlik protest relativistliku füüsika vastu tuleneb aga lihtsast soovist "mitte jääda üksi". Selleks mõtleb ta välja alati ühesuguse ja usaldusväärse "reaalsuse", milles kõik inimesed on ühtemoodi "koos". Aga välja mõelda võib ka seitsmepealise lohe :-)

Miks ma seda siin räägin? Aga ka "energia" on ju relativistlik mõiste. Püssikuul omab kineetilist energiat vaid selle vaatleja jaoks, kelle suhtes kuul mingi kiirusega liigub. Vaatleja jaoks, kes juhtumisi liigub kuuliga kaasa, on kuul ju paigal ning kineetilist energiat ei oma. Püssikuulide "universaalne ohtlikkus" on lihtsalt nende vaatlejate kollektiivne väljamõeldis, kelle jaoks püssikuulid üldjuhul suure kiirusega liiguvad. Potentsiaalset energiat saab mingi keha omada vaid väljas, mida teine keha tekitab. Välja olemasolu ise on aga samuti relativistlik. Elektrivälja või magnetvälja olemasolu sõltub ju välja tekitaja liikumisest konkreetse vaatleja suhtes. Ühe vaatleja jaoks on mingi staatiline väli olemas, aga teise jaoks mitte. Sõnaga "väli" tähistan ma jõu tekkimise võimalikkust. Kui Sulle ei meeldi sõna "väli", siis ütle "eeter". Ütle "vaakumi deformatsiooni seisund". Ütle mida iganes! Pole ju kuigi tähtis, mis sõnaga me tähistame seda looduse objekti, mille omaduste üle me parajasti diskuteerime. Tähtis on vaid see, et me ühtemoodi saame aru neist omadustest endist.

Ma ei tahaks laskuda Sinu teksti üksikasjade kritiseerimisse. Olen seda ju mingis osas juba teinud, millalgi kevadel. Olen küll Sinust üks jagu noorem mees, aga mistahes seltskondadele elektrist rääkinud olen ma juba 30 aastat. Mitte ainult rääkinud vaid ka väga palju mõelnud selle üle, mida ma räägin või mida ma olen raamatutest selle asja kohta juurde lugenud. Mitte ükski mulle esitatud elektri-teemaline küsimus ei ole seni jäänud vastuseeta. Ma ei näe kõneväärseid probleeme elektri- ja magnetnähtuste äraseletamisel Maxwelli võrrandisüsteemi raames. Kõik on mulle arusaadav ja loogiline. Miks peaksin ma asuma uurima või siis ise välja mõtlema alternatiive nii hästi töötavale teooriale? Palun seleta mulle, miks?

JJ vastus KT-le: Tänan Sind kogu südamest! Sa oled ära teinud väga suure töö, et delikaatselt mulle märku anda, kas on mõtet koostada lihtsat aseainet nii hästi töötavale teooriale. Sinu seisukohtadega tuleb nõustuda (KT rõhutus). Kuid probleem on aga ikkagi olemas (KT remark: Ehkki JJ *nõustub*, pöördub ta peagi tagasi oma "teooria" juurde). JJ jätkab: Elekter on inimestele *müstiline* (KT: ???) ja elektriõpe edeneb reeglina väga visalt ja klassikalise õppe kasutegur selle napi õppeaja puhul on kahjuks väga tagasihoidlik. Just see on mind sundinud selliseid lihtsaid piltlikke mudeleid koostama ning mõistete nimetuste ja sisu üle mõtlema. Need on enamasti sündinud loengute ajal. On tekkinud vajadus elektrinähtusi visualiseerida. Õpikud reeglina ei ava elektriseadmete tööpõhimõtet. Kuidas töötab trafo jne? Kuna ei tajuta seost energia ja *nelja voldiga mõõdetava suuruse vahel* (KT rõhutus, me näeme, et JJ mõõdab jätkuvalt elektrivälja tugevust voltides!) siis ka elektrikvaliteedi riknemismehhanism on valdavalt energiaga seostamata ja loogilise selgituseta. Sama seis on elektromagnetilise ühilduvusega, kus välja- ja ahelateteooria on jõuetud. Pakkudes elektritudengitele peale klassikaliste elektrotehnika eksamite sooritamist neid mõtteid ja mudeleid tekkivad neil seosed varemõpituga ning nad hakkavad kvaliteedi ja ühilduvuse probleeme oluliselt paremini omandama. Mitte-elektriala tudengid loengute, õpiku, eksamiküsimuste vastuste stenogrammi ja tubli tööga annavad eksamil mulle väga korralikud vastused. See lohutab mind ja annab julgust arvata, et see siiski pole olnud päris mõttetu tegevus.