

## 9. MASSA JA PAINO

Massa ja paino ovat sekä aivan erilaisia asioita että aivan erilaisia ilmiöitä fysiikassa

- A. Massa on eräs tarkalleen määrätty N-lukumäärä sopimuksen mukaisia alkioryhmiä. Kun täksi alkioryhmäksi valitaan  $\varphi_0$ -hiukkanen, niin massan yhtälöksi tulee

$$M = N \cdot \varphi_0 \quad (9.1)$$

Paino syntyy massan sieppaamasta liikemäärästä maapallon sisälle virtaavista gravitaatiokentästä ja  $\varphi$ -kentästä. Painovoiman yhtälö on

$$F = m_G v_G \cdot f + m_\varphi v_\varphi \cdot f \quad (9.2)$$

mistä seuraa painolle yhtälö

$$m = (m_G v_G \cdot f + m_\varphi v_\varphi \cdot f) / g \quad (9.3)$$

Yhtälössä 9.3 on

$$\begin{aligned} m_G \cdot v_G &= \text{gravitaatiokentästä siepattu liikemäärä} \\ m_\varphi v_\varphi &= \varphi\text{-kentästä siepattu liikemäärä} \\ f &= \text{atomiytimen kentän reagoititiheys} \\ g &= 9,80665 \text{ m} / \text{s}^2 = \text{putoamiskiihtyvyy} \end{aligned}$$

Painovoima ja paino ovat yhtälön 9.3 mukaisesti olemassa vain siellä, missä kappaleella on liikettä joko gravitaatiokentän tai  $\varphi$ -kentän suhteen, muuten kappaleen paino = 0. Painovoima ja paino ovat avaruuden ”sähkömagneettisten” kenttien reaktio atomiytimen kanssa samantapaisesti kuin mikä tahansa vastaava normaali sähkömagneettinen ilmiö. Asia voidaan kääntää myös toisinpäin : sähkömagneettisen kentän aiheuttama voima voidaan ymmärtää samantapaisesti kuin painovoima.

Massa ja paino on jotenkin kiinnitettävä toisiinsa sekä vakiintuneiden käsitysten että sen takia, että niillä on sama mittayksikkö = kg. Tämän takia on oletettava, että fysiikka on jotenkin kyennyt määrittelemään protonin  $p_0^+ = 1,672623110 \cdot 10^{-27}$  kg ja elektronin  $e_{91}^- = 9,109389754 \cdot 10^{-31}$  kg massasuhteen oikein.

$$\frac{p_0^+}{e_{91}^-} = 1836,15270137 \quad (9.4)$$

Laskelmat osoittavat, että tulos 9.4 saattaa olla pätevä, mutta tässä arvioinnissa on pidettävä tarkasti mielessä, että sähkömagneettinen vuorovaikutus on mahdollinen vain värähdysketkellä, joten värähdysluku tai tarkennettuna reagoititiheys on vuorovaikutuksessa samalla tavalla tärkeä osatekijä kuin vuorovaikuttava liikemäärä. Kun tätä ei ole huomioitu, niin on syntynyt täysin väärä käsitys esimerkiksi suhteellisuusteoreettisesta massan kasvusta nopeuden funktiona, vaikka kysymys ei ole ollenkaan sen enempää suhteellisuusteoriasta kuin massan kasvusta, vaan reagoititiheyden muutoksesta. Kun reagoititiheys laskee, niin ulkoisen magneettikentän vaikutusta on nostettava. Tämä on selvitetty kohdassa 7A.4.

Kun fysiikassa tarkastellaan protonia  $p_0$ , niin tarkastellaan rakennetta magneettijae + sähköjate =  $(1/2 + 1/2) + (1/2 + 1/2) = 1 + 1$  ja kun tarkastellaan elektronia  $e_{91}$ , niin tarkastellaan rakennetta  $(1/2 + 1/2) + (1/2 + 1/2 + 3) = 1 + 1 + 3$  kaksinkertaisena. Näissä ensimmäinen luku 1 liittyy magneettijakeen eräänlaiseen sisäiseen sähkökenttään ja siihen ei liity varausryhmää. Olkoon eräs varausryhmä  $q_0$ , jolloin positiiviselta  $p_0^+$  puuttuu näitä 1 ja negatiivisella  $e_{91}^-$  on näitä 8.

$$p_0^+ = p_0 - q_0 \rightarrow p_0 = p_0^+ + q_0 \quad (9.5)$$

$$e_{91}^- = 10 \cdot e_0 + 8 \cdot q_0 \rightarrow 10 e_0 = e_{91}^- - 8 q_0 \quad (9.6)$$

missä on käytetty hyväksi tietoa neutraali  $e_{91} = 2 \cdot 5e_0 = 10 \cdot e_0$ . Varausryhmän  $q_0$  osalta tulee huomata, että jos protonin varausryhmä  $+q_0$  on yhtä suuri kuin elektronin varausryhmä  $-q_0$ , niin silloin varausryhmät  $7q_0$  ovat elektronien  $e_0$  välisiä varausryhmiä ja sidoksia. Muidenkin laskelmien mukaan näin näyttää olevan.

Kun  $p_0 = 137^2 \cdot e_0$ , niin saadaan yhtälö

$$\frac{1,67 \cdot 10^{-27} + q_0}{9,1 \cdot 10^{-31} - 8q_0} = \frac{137^2 \cdot e_0}{10 \cdot e_0} = 1877,886423 \quad (9.7)$$

Tästä ja yhtälöistä 9.5 ja 9.6 ratkaisemalla saadaan

$$q_0 = 2,530380226 \cdot 10^{-33} \text{ kg} \quad (9.8)$$

$$p_0 = 1,672625640 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$e_0 = 8,906959334 \cdot 10^{-32} \text{ kg}$$

Muilla tiedoilla täydennettyinä saadaan varausryhmälle, mihin vaikuttaa myös lämpötila, rinnakkaismassa  $2,530380249 \cdot 10^{-33} \text{ kg}$ . Tästä saadaan verrannollisuudet

$$e_{91}^- = 10,227272195 \cdot e_0 \quad (9.8B)$$

$$e_0^- = 1,02840902438 \cdot e_0 \quad (9.8C)$$

Tuloksesta 9.8C voidaan edelleen johtaa tarkka tulos

$$\frac{1}{2,84^{1/1,9}} = C \cdot \left| 1 + \frac{C^{1,9}}{12 \cdot 1,9 \cdot 100^2} \right| \quad (9.8D)$$

missä  $C = 0,577215665 = \text{Eulerin vakio}$ . Tämä saattaa olla se syy, minkä takia Eulerin vakio esiintyy näissä fysiikan teorioissa, vaikka tulos 9.8D voi olla sattumakin. Kuitenkin yhtälössä 9.8D esiintyviä lukuja ja yhtälön suurta tarkkuutta ajatellen tämä yhteys ei näytä sattumalta. Alkioryhmää  $q_0$  on tarkoituksellisesti edellä kutsuttu varausryhmäksi, koska näyttää ilmeiseltä, että varauksen suuruus liittyy atomeilla ja elektroneilla lineaarisesti tähän alkioryhmään. Riippumatta siitä, onko näin todellisuudessa, niin edellä esitettyjä massoja  $p_0$ ,  $e_0$  ja  $q_0$  voidaan perustellusti pitää todellisina, sillä ne toteuttavat suuren määrän erilaisia hiukkasfysiikan yhtälöitä ”äärimmäisellä” tarkkuudella. Varaus on kuitenkin käsitteenä ja luonteeltaan liikemäärän siirtymä, jolle voidaan kirjoittaa samankaltainen yleinen yhtälö kuin painolle ja painovoimalle (vrt. Yhtälö 9.11A). Kun varauksen aiheuttama voima = F, niin

$$F \approx \text{vuorovaikutuskertojen lukumäärä} \\ \text{aikayksikössä } x \text{ yhdessä vuoro-} \\ \text{vaikutuksessa siirtyvä liikemäärä} \quad (9.8E)$$

Tässä yhteydessä käsitellään erilaisia alkiorhyimiä  $q$  aina massoina, mihin liittyy määrätty liikemäärä. Atomeissa varauskäsite liittyy elektronikenttiin, joilla on tarkkoja ominaisuuksia ja jotka jakautuvat määrättyllä tavalla. Niillä kaasuilla – kuten  $H_2$ ,  $N_2$  ja  $O_2$  – joilla ominaislämpösuhde on  $C_p : C_v = 1,4$ , on seuraava elektronikenttärakenne mallinomaisesti ja suurimmassa elektroniryhmässä

$$(1+1) \cdot e_0 / 2 + (1+3) \cdot e_0 / 2 + (3+5) \cdot e_0 / 2 + (5+7) \cdot e_0 / 2 \quad (9.8F)$$

Kun syntyy atomi-ioni, niin tällaisesta elektronikentästä irtoaa ryhmä  $(3+5) \cdot e_0 / 2 + (5+7) \cdot e_0 / 2 = 10 \cdot e_0$  ja nyt voidaan huomata, että tämä on tekijää

$$8 \cdot q_0 = 8 \cdot e_0 / 35,20008275 \quad (9.8G)$$

$$= e_0 / 4,400010344 \quad (9.8H)$$

vaille elektroni  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \rightarrow$  voidaan hyvin olettaa, että irtoava ryhmä on juuri  $e_{91}$ . ”Sähköjakeet”  $(1+3)$ ,  $(3+5)$ , ... ovat sitoutuneet toisiinsa käänteisin ”magneettijakein”  $1/(1+3)$ ,  $1/(3+5)$ , joista aivan ilmeisesti tulee hiukkasille varaus. Merkitään nyt

$$q_m = e_0 / (3+5) = e_0 / 8 \quad (9.8I)$$

mikä sitoo sähköjakeita  $(1+3) \cdot e_0 / 2$  ja  $(3+5) \cdot e_0 / 2$ . Tämä sitoutuminen tapahtuu elektronien kentässä todennäköisimmin siten, että sidosjakeen kentät  $e_0 / (2 \cdot 8 \cdot 137)$  vuorottelevat elektroniryhmien  $(1+3) \cdot e_0 / 2$  ja  $(3+5) \cdot e_0 / 2$  kenttien toisten kondensoitumispisteiden välillä. Kannattaa huomata, että tästä samasta asiasta näyttää sitten tulevan tavanomaiset spektrijakaumat Balmerin kaava mukaan luettuna. Tässä yhteydessä voidaan huomioda, että varsin hyvällä tarkkuudella  $q_0 = e_0 / 35,2$  ja  $q_m = e_0 / 8 = 4 \cdot e_0 / 35,2 + e_0 / 80 - e_0 / 800 + \dots$ . Tämän jälkeen voidaan luetteloida kaikki elektroniryhmiin liittyvät käänteiset ”magneettiset” sidosjakeet ja varausryhmät  $q_m$ .

$$4 \cdot q_m = e_0 / (1+1) \quad (9.8J)$$

$$2 \cdot q_m = e_0 / (1+3)$$

$$q_m = e_0 / (3+5)$$

$$2 \cdot q_m / 3 = e_0 / (5+7)$$

$$q_m / 2 = e_0 / (7+9)$$

$$2 \cdot q_m / 5 = e_0 / (9+11)$$

$$q_m / 3 = e_0 / (11+13)$$

Tämä kaikki – aivan yhtä hyvin kuin yleiset kaasumaiset ja metalliset sidosrakenteet – sopii täysin yhteen siihen elektronikaasun hiukkaskuvaan, missä kvasipartikkelit muodostavat kondensoituneen kvanttikaasun ja missä esiintyy myös murtolukuvarauksia, kuten esimerkiksi Nobel-fysiikan 1998

yhteydessä esitetään. Edellä esitetyt yhtälön 9.8J varausryhmät  $q_m$  esiintyvät kvantisoituneen Hall'in vastuksen nollakohtina, minkä erikoiskohtia ovat myös  $1/2$  ja  $1/4$  (vrt. Nobel-fysiikan 1998 tekstiosa). Nollakohta tässä tarkoittaa juuri erästä hiukkasille mieluista tasalukuista jaetta, minkä läheisyydessä ei pieniä siirtymiä tapahdu. Mielenkiintoista on, että pienin mitattu murtolukuvaraus on  $1/3$ , mitä vastaa suurin elektroniryhmä  $(11+13) \cdot e_0$  ja suurin magneettikenttä  $26 \dots 30 \text{ T} \rightarrow$  tämä lienee suurin mitattu Hall'in vastuksen nollakohta.

Oletetaan nyt, että yhtälön 9.8F mukainen elektronikenttä pilkkoutuu jakeiden  $(1+3)$  ja  $(3+5)$  välistä, jolloin myös näiden välinen sidosryhmä  $= e_0 / (3+5)$  jakautuu määrättyllä tavalla  $\rightarrow$  tämä on asian ydinkohta, sillä tästä tulee varaukset. Mutta miten tämä jakautuu, jos tiedetään, että positiivisen ionin varaus  $+q$  on yhtä suuri kuin elektronin  $e_{91}$  varaus  $-q$ . Se, että nämä ovat vastakkaismerkkiset ja nimellisarvoltaan yhtä suuret tarkoittaa nimenomaisesti, että niihin liittyvät erilaiset massat ja liikemäärät, koska vuorovaikutuskertojen lukumäärä on erilainen. Atomien kenttien vuorovaikutustiheys ei voi tulla elektronien sähkökentistä, koska nämä ovat hyvin erilaisia kuten esimerkiksi kaasujen äänennopeusmittaukset osoittavat. Magneettiseksi vuorovaikutustiheydeksi otetaan protonin  $p_0$  kentän ensimmäinen kondensoitumispisteen  $p_i = p_0 / 137$  värähdysluku.

$$\omega_{p_i} = 1,100742214 \cdot 10^{12} \text{ 1/s} \quad (9.8K)$$

Vastaavasti elektronien  $e_{91}$  värähdyslukuksi saadaan laskettua

$$\begin{aligned} \omega_{e_{91}} &= \omega_{e_0} / 10,227 = 1,508412985 \cdot 10^{14} / 10,227 \\ &= 1,474892774 \cdot 10^{13} \text{ 1/s} \end{aligned} \quad (9.8L)$$

Vuorovaikutusten lukumäärät ovat kääntäen verrannollisia vuorovaikuttaviin liikemääriin ja nopeuden ollessa vakio myös vuorovaikuttaviin massoihin. Vuorovaikutusten suhteeksi saadaan

$$\omega_{e_{91}} / \omega_{p_i} = (1,47 \cdot 10^{13}) / (1,10 \cdot 10^{12}) = 13,39907523 \quad (9.8M)$$

Massa ja alkiryhmä  $e_0 / (3+5) = e_0 / 8$  tulee siis jakaa tässä suhteessa, jotta mitatut arvot  $+q$  ja  $-q$  olisivat yhtä suuret. Tällöin saadaan yhtälö

$$x + x / 13,3 = e_0 / 8 \quad (9.8N)$$

$$x = e_0 / 8,59705613 \quad (9.8P)$$

$$= 1,036047596 \cdot 10^{-32} \text{ kg} \quad (9.8Q)$$

Tämä ei ole mikä tahansa luku, sillä tämä tulee suoraan vedyn ylihienosilppoumasta  $4,31755012 \cdot 10^{-7}$ . Tämä nähdään seuraavasti, kun merkitään, että eräs alkiryhmä  $Y = 4,317 \cdot 10^{-3}$  ja lasketaan

$$Y_n = Y - Y^2 + Y^3 - \dots \quad (9.8R)$$

$$= 4,29898365 \cdot 10^{-3} \quad (9.8S)$$

$$2 \cdot Y_n = 8,5979673 \cdot 10^{-3} \quad (9.8T)$$

Tämän jälkeen kirjoitetaan "magneettisen" jakeen jakautumisyhtälö muotoon

$$e_0 / 8,5979 + e_0 \cdot 8,5979 \cdot 10^{-3} = e_0 / 8,006114921 \quad (9.8U)$$

$$= e_0 / 8 - e_0 / 10474 \quad (9.8V)$$

Poikkeama täydellisestä "ihanneluvusta" on siis  $e_0 / 10474 = 8,5 \cdot 10^{-36}$  kg, mikä on noin kaksi valohiukkasta  $\gamma_0$ . Mielikuvan tämän poikkeaman pienuudesta saa ajattelemalla, että tämä vastaa noin yhden asteen lämpötilan muutosta normaaliolosuhteissa atomeissa ja sen suurimmassa elektroniryhmässä. On aihetta uskoa, että alkioryhmän  $q_m = e_0 / 8$  jakauma atomin ja elektronin kesken tulee samasta alkioryhmästä kuin vedyn ylihienosilppouma ja että käytännön tarkkuuksissa yhtälö 9.8U pätee. Tämän jälkeen voidaan vielä koettaa laskea, mitä tämä vaikuttaa varausvoimana F.

Alkioryhmän  $e_0 / 8,597$  kenttä on  $1/137$ -osa tästä ja sen voidaan olettaa jakautuvan osiin  $3+5 = 8$ , joista jakeet 3 ja 5 vaikuttavat vastakkaisiin suuntiin  $\rightarrow$  nettovaikutus on 2 jaetta. Vuorovaikuttava massa on siten

$$(5-3 / 5+3) \cdot (e_0 / 8,597) \cdot (1 / 137) = 1,9 \cdot 10^{-35} \text{ kg} \quad (9.8X)$$

Kun vuorovaikutustiheys on  $1,1 \cdot 10^{12}$  ja vuorovaikutusnopeus on gravitaatiokentän nopeus  $137 \cdot c$ , niin "varausvoimaksi" saadaan

$$F = mvf = 1,9 \cdot 10^{-35} \cdot 137 \cdot c \cdot 1,1 \cdot 10^{12} \quad (9.8Y)$$

$$= 8,6 \cdot 10^{-13} \text{ kgm} / \text{s}^2$$

Tämä on samalla alueella kuin mitä yhtälöstä  $F = qvB$  saadaan tavanomaisilla arvoilla. Kun varausvoimaa tällä tavalla havainnoidaan, niin kysymyksessä on vuorovaikutus ulkoisen magneettikentän kanssa kuten spektroskopiassa. Kirjallisuusvaraus  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  As on eri asia kuin edellä esitetyt varausryhmät ja arvoa  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  As tulee pitää vain eräänä sopimuksen mukaisena mittalukuna, jota voi käyttää laskelmissa. Varaus  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  As ja Planckin vakio  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ kgm}^2 / \text{s}$  ovat samantyyppisiä liikemäärän mittareita ja itse asiassa niitä sitoo toisiinsa tarkka yhtälö

$$h = q^2 \cdot 137 \cdot c \cdot \mu_0 / 2 = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ kgm}^2 / \text{s} \quad (9.8Z)$$

Molemmat mittaluvut  $h$  ja  $q$  voidaan liittää elektroniin  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg (vrt. Yhtälöt 7A.38 ja 11.10), mutta kun Planckin vakio ei ole vakio (vrt. Kohta 11), niin yhtälön 9.8Z mukaisesti varaus  $q$  ei myöskään ole vakio eli kun  $m \rightarrow 0$  niin  $h \rightarrow 0$  ja siten myös  $q \rightarrow 0$ . Edellä esitetyt alkioryhmät  $q_0$  ja  $q_m$  ovat tietysti aina vakioita, jotka on kiinnitetty tarkasti sekä elektroneihin  $e_0$  ja  $e_{91}$  että protoneihin  $p_0$  ja  $p^+$ . Kun protoni  $p_0$  ja elektroni  $e_0$  on massoineen kiinnitetty toisiinsa, niin tällä tulevat kiinnitetyksi kaikki alkeishiukkasten massat painosta riippumatta, sillä nyt

$$\varphi_o = \frac{p_o}{137^{12}} = 3,81402089 \cdot 10^{-53} \text{ kg} \quad (9.9)$$

ja massat olivat muotoa  $M = N \cdot \varphi_o$  ilman painovoimaa. Nämä kaikki massat sisältävät normaalit säännölliset hiukkasten kentät. Fysiikan kannalta on nyt välttämätöntä tehdä vielä uusi kiinnitys massan ja painon välille. Tämä kiinnitys on tehtävä siten, että

$$\text{protonin paino } p_0 = \text{protonin massa } p_0 \quad (9.10)$$

ja tämän jälkeen todetaan määritelmän luonteisesti, että yhtälö 9.10 pätee. Fysiikka on kuitenkin tehnyt jo toisen kiinnityksen siten, että hiilen  $C^{12}$  atomipaino on tasan 12,0000 amu. Jotta tämä olisi

sama asia kuin yhtälö 9.10, niin jokaisen hiilen protonin tulee reagoida yhtä monella alkiryhmällä painovoimakenttään kuin yksittäisen protonin  $p_0$  ja hiilen kenttien  $= 12 \cdot p_i$  tulee olla elektroniryhmiä myöten tarkalleen  $12 \cdot p_0 / 137$ . Jäljempänä osoitetaan, että tämä ei tarkalleen päde, joten hiilestä laskettu protonin paino ei ole sama kuin vapaan protonin paino eli hiilellä eivät massa ja paino ole myöskään numeerisesti samoja lukuja, kun yhtälö 9.10 määritelmän luonteisesti pätee aina. Kun atomipainot on keinotekoisesti kiinnitetty hiileen  $C^{12}$ , niin tämä näkyy jo atomipainotaulukosta 9.15, missä kolmannen termin käännepiike on tyyppiä lukuun ottamatta nimenomaisesti hiili  $C^{12}$ . Se, että massalla ja painolle sanotaan saatavan 8 numeron tarkkuudella sama lukuarvo tarkoittaa vain sitä, että fysiikassa atomimassat ovatkin todellisuudessa atomipainoja, sillä muuten tämä ei ole mahdollista.

Sen selvittämiseksi, miten atomipainot ja atomimassat liittyvät toisiinsa, joudutaan tutkimaan sitä, miten atomiydin reagoi painovoimakentän kanssa, millaisia ovat atomien todelliset elektronikentät ja miten atomi reagoi spektroskopiassa ulkoisen magneettikentän kanssa. Seuraavaksi tarkastellaan ensin ytimen painovoimareaktioita ja sen jälkeen atomin reaktioita ulkoisen magneettikentän kanssa sekä lasketaan muutama todellinen esimerkkitausta.

Protonien sidostumisella toisiinsa atomiytimessä on selvää analogiaa siihen, miten atomit eri tavoin sidostuvat molekyyliksi. Kun atomeilla elektroniryhmien sähkökentät voivat tehdä ionityyppisiä valenssidoksia fotonisten kondensoitumispisteiden kautta, niin aivan vastaavasti ytimen kentän ensimmäiset kondensoitumispisteet  $p_i$  tekevät atomiytimen protonien välille ”valenssidoksia”. Nämä sidokset, kuten mahdolliset atomiytimen protoniryhmien väliset helium-sidokset (vrt. kuva 6.7), ovat suhteellisen heikkoja sidoksia ja nämä sidokset eivät vaikuta painovoimareaktioihin. Kun atomiydin halkeaa, niin halkeaminen saa alkunsa juuri näistä kohdista ja näyttäähän hidas neutroni  $= 25$  meV todellisuudessa olevan hyvin tarkasti heliumin elektroniryhmän kenttä, jonka kondensoitumispiste on käänteisenergialtaan  $99,285583$  meV /  $(1+3) = 4 \cdot m_m = 25$  meV.

Edelleen analogisesti samalla tavalla kuin metalliatomeilla ”magneettikenttä  $1/N$ ” = fononikentät tekevät todellisen metallisidoksen sekä suoraan atomien välille että ”vapaana leijuvan makromolekyyllisen elektronikentän” kautta, niin samalla tavalla atomiytimessä protonin käänteiset magneettikentät  $1/N$  tekevät lujia sidoksia protonien välille, joilla saattaa hyvinkin olla metallisidosten luonne. Atomien molemmista magneettikentistä = ytimen magneettikenttä ja elektronien magneettikenttä voi syntyä reaktiivisuus ulkoisen magneettikentän kanssa ja protoniytimen magneettikentästä syntyy lisäksi reaktiivisuus painovoimakentän kanssa. Tämä viimeksi mainittu reaktiivinen ”magneettijae” suorittaa liikemäärän sieppauksen painovoimakentästä ja antaa hiukkaselle tällä tavalla painon, jolla on verrannollisuus

$$\text{paino} \approx \frac{\text{reaktioiden lukumäärä}}{\text{aikayksikössä } x \text{ yhdessä}} \cdot \text{reaktioissa siirtyvä liikemäärä} \quad (9.11A)$$

Fysiikan kohdassa 7A.5 on selostettu, miten protonin ja neutronin massaero syntyy tasalukuisesti Comptonin elektronista  $e_c$  silloin, kun protonin alkiryhmä ytimen kentän ensimmäisessä kondensoitumispisteessä  $p_i$  on positiivinen magnetoni

$$m_m^+ = 0,9928558295 \cdot m_m \quad (9.11B)$$

$$= 10 \cdot 13,605698115 \cdot m_m / 137,0359895 \quad (9.11C)$$

Kun tämä rakennemuoto on eräs hiukkasten yleisesti suosima ryhmä ja kun tämä esiintyy kenttärakenteissa  $p_i$ , niin on luonnollista olettaa, että tämä sama rakenne ja sen seurauksena ryhmäkoko

$$137,035 / 0,9928 = 138,022042566$$

(9.11D)

esiintyy protoniytimen niissä magneettijakeissa, jotka reagoivat painovoimakentän kanssa. Koska yhtälön 9.11D alkiryhmät ovat positiivisia ja vajaita, niin ne kykenevät liikemäärän siirtymisen lisäksi tekemään hiukkassieppauksen painovoimakentästä.

Protoniytimen ominaiskenttä on termoni  $r_0$ -kenttä, minkä ominaiskenttä puolestaan on  $\varphi_0$ -kenttä. Kun termonit voivat kondensoitua jakeeksi  $p_i \rightarrow$  "sähköjake", niin vastaavasti  $\varphi_0$ -hiukkaset voivat kondensoitua a-kvarkiksi (vrt. kaaviokuvat 5.4 ja 7.27). Ajatellaan näiden nyt muodostavan kondensoitumispisteiden kehän, mikä mallinomaisesti olkoon säännöllinen 6-kulmio, jonka sekä säteittäiset = "sähköiset" ja sivuttaissuuntaiset = "magneettiset" värähdysmatkat ovat yhtä suuret. Tässä kondensoitumispisteiden kehässä

$$\rightarrow p_i / 2 \rightarrow a / 4 \rightarrow a / 4 \rightarrow p_i / 2 \rightarrow a / 4 \rightarrow a / 4 \rightarrow$$

(9.11E)

N-kenttä ja 1/N-kenttä liikkuvat tavanomaiseen tapaan vastakkaisiin suuntiin. Kannattaa huomata, että kun a-kvarkin käänteisenergia on 35 MeV, niin hiukkasen  $a/4 =$  pioni käänteisenergia on juuri  $4 \cdot 35 = 140$  MeV, mikä on tunnettu tulos ja rakenteen 9.11E takia voidaan ajatella pionien  $= a/4$  olevan yleisiä hiukkastörmäyskokeissa. Tämän takia myös on oikein sanoa, että ytimellä on ikään kuin sykkivä pionikenttä.

Samalla tavalla kuin kondensoitumispiste  $p_i = 137 \cdot e_0$  voidaan ajatella elektroniseksi rakenteeksi, niin kondensoitumispiste a-kvarkki  $= 137 \cdot b$ -kvarkki voidaan myöskin ajatella "elektroniseksi" rakenteeksi ja onhan b-kvarkki gravitaatiokentän elektroni. Tämän takia juuri syntyy liikemäärän siirtymä, kun nämä b-kvarkit vuorovaikuttavat gravitoni  $g_0$ -kenttiensä kautta toinen toistensa kanssa. Protoniytimen kentän ensimmäiset kondensoitumispisteet "magneettikentän" suuntaan voidaan edellä esitetyn perusteella kirjoittaa muodossa

$$4 \cdot a / 4 = 4 \cdot 137 \cdot b / 4 = 548 \cdot b$$

(9.11F)

ja yhtälö 9.11D huomioiden

$$4 \cdot 138,022 \cdot b^+ / 4 = 552,0881703 \cdot b^+ / 4$$

(9.11G)

Tämä on nyt mallinomaisesti hyvä ajatella kaksoiskierteiseksi spiraaliksi, jossa on 552 kaksoisjakea. Jokaisen kondensoitumispisteen  $a/4$  on nyt uhrattava yksi kaksoisjake keskinäisiin vuorovaikutuksiin, joten painovoimareaktioille jää perusalkiryhminä laskettuna

$$552 - 4 \cdot 1 = 548,0881703 \cdot b^+ / 4$$

(9.11H)

"Perusalkiryhminä" on edellä tarkoituksellisesti sanottu, sillä painovoimareaktiot ovat hyvin suureen joukkoon hiukkasia liittyviä tapahtumia,  $b = 137^2 \cdot g_0 = 137^4 \cdot \varphi_0$ . Kun lähdetään siitä, että yhtälö 9.10 määritelmän luonteisesti pätee, niin protonille  $p_0$  voidaan kirjoittaa

$$548 \text{ painovoimareaktiivista alkiryhmää } b^+ / 4$$

$$= \text{paino } p_0 = \text{massa } p_0$$

(9.11I)

Tilanne kuitenkin muuttuu heti, kun protonit  $p_0$  alkavat sidostumaan toisiinsa, koska jokaisen jakeen  $a/4 =$  pioni ajatellaan sidostuvan silloin kun se on mahdollista. Päättymättömässä ketjussa tai renkaassa tämä tarkoittaa, että yhtälön 9.11I mukaisista alkiryhmistä protonin on uhrattava

sidostumiseen 4. Itse sidostuminen voi tapahtua suorana vuorovaikutuksena tai gluonien  $g$  välityksellä, koska gravitonien  $g_0$  eräs luonnollinen kondensoitumisjae on juuri gluoni  $g$ . Tällä tavalla gluoneja voi todellakin olla atomiytimessä, mutta onkohan se alunperin näin ajateltu. Matemaattisesti tulos on kummassakin tapauksessa sama eli jokaista  $p_0 - p_0$  sidosta kohti poistuu painovoimareaktioista kaksi reaktiivista ryhmää. Protonirenkaan tapauksessa tämä sama asia on yhtälönä

$$\begin{aligned} \text{atomipaino} &= N \cdot p_0 \cdot (1 - 4 / 548) \\ &= N \cdot p_0 \cdot (1 - 1 / 137,022042566) \end{aligned} \quad (9.11J)$$

Jokainen voi itsekin todeta taulukosta 9.15, että näin juuri näyttää käytännössä olevan. Mikäli kysymyksessä on protoniketju tai päättyvä protonihaara, niin tällöin päätepisteenä olevalle protonille tulee 2 painovoimareaktiivista ryhmää lisää yhtälöön 9.11J  $\rightarrow +2/548$  ja kun  $n$  tällaista päätyprotonia jaetaan  $N$ :lle protonille, niin saadaan yleinen yhtälö atomipainolle

$$\text{atomipaino} = N \cdot p_0 \cdot (1 - 1 / 137 + n / (N \cdot 274)) \quad (9.11K)$$

Jos kysymyksessä on protoniketjut ja keinotekoisesti sidotaan atomipaino hiileen  $C^{12}$ , niin silloin hiiltä kevyemmällä alkuaineilla kolmannen termin tulee olla positiivinen ja raskaammilla alkuaineilla negatiivinen. Kun tarkastellaan taulukkoa 9.15, niin näin juuri havaitaan olevan tyypeä lukuun ottamatta. Tämän taulukon mukaisesti hiiliydin  $C^{12}$  olisi lähes täydellinen rengas tai paremminkin 2 rengasta  $\rightarrow 2 \cdot 6 \cdot p_0 = 12 \cdot p_0$ . Tästä taas seuraa, että suuremmilla atomeilla on pieni määrä ylimääräisiä ristiinkytkentöjä esimerkiksi kerrosten tai spiraalisten kaksoiskierteiden kesken samalla kun oletetaan tiedettävän, että elektronikenttien suhteellinen koko protonia kohti pienenee, kun atomipaino kasvaa. Täysin väärin on sanoa, että  $n$  protonilla on  $n$  kappaletta elektroneja  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg, sillä tämä ei useammallakaan eri tavalla päde. Tämän jälkeen ollaan valmiita tutkimaan, mitä spektroskopiassa tapahtuu.

Spektroskopiassa ulkoisen magneettikentän ja atomin välisen vuorovaikutuksen voidaan ajatella olevan analoginen sille, miten kaasunpaine syntyy atomien kenttien vuorovaikuttaessa toinen toistensa kanssa, vrt. yhtälöt 4.104R ja 4.105E. Spektroskopiassa yleisistä magneettikentän voimakkuuksista 0,002 ... 2T voisi päätellä, että se on nimenomaisesti atomin magneettikenttä, mikä vuorovaikuttaa ulkoisen magneettikentän kanssa, mutta asia ei ole aivan näin yksinkertainen ja aloitetaan asian käsittely spektroskopian yleisestä yhtälöstä, mikä on

$$qvB = mv^2 / r \quad (9.12A)$$

$$\rightarrow m = r \cdot qB / v \quad (9.12B)$$

missä hiukkasen normaalivoima = keskeisvoima  $F = mv^2 / r$  on asetettu yhtä suureksi kuin hiukkasen liikesuuntaa vastaan kohtisuora magneettikentän voima  $F = qvB$ . Tämä yhtälö on fysiikassa osoitettu kokeellisesti päteväksi riippumatta siitä, mitä tässä atomiin kohdistuvassa voimayhtälössä todella tapahtuu ja onkin mahdollista, että kysymyksessä ei ole ollenkaan ympyrärata, vaan hyvin lyhyistä täysin suorista jaksoista muodostuva murtoviivarata. Tällainen on luonteenomaista juuri silloin, kun hiukkasta kääntävä voima on pulssiluonteinen magneettinen paine. Jos käytetään vakionopeutta  $v$  ja ulkoiselle magneettikentälle vakiovuontiheyttä  $B$ , niin yhtälöstä 9.12B saadaan matemaattisesti yksiselitteinen verrannollisuus

$$m \sim r \quad (9.12C)$$

Spektroskopiassa voidaan myös ajatella valittavaksi vakiojännite  $V$  vakionopeuden  $v$  sijasta, jolloin tietysti  $v$  muuttuu. Muodollisesti voidaan lähteä yhtälöstä



$$mv^2 / 2 = q \cdot V \quad (9.12D)$$

ja käyttämällä hyväksi yhtälöä 9.12A voidaan kirjoittaa

$$m = q \cdot B^2 \cdot r^2 / 2V \quad (9.12E)$$

$$\rightarrow m^{1/2} \sim r \quad (9.12F)$$

Yhtälöt 9.12C ja 9.12F ovat luonnollisesti yhtäpitävät ja yhtäpitäviksi ne on todettu myös kokeellisessa fysiikassa. Kolmas oikeaksi todettu yhtälö liittyy synkrotronitaajuuksien laskemiseen suurilla nopeuksilla, jolloin synkrotronitaajuus saadaan yhtälöstä

$$f_s = q \cdot B \cdot (1 - v^2 / c^2)^{1/2} / 2 \pi m \quad (9.12G)$$

Tämä on teoreettisesti tärkeä yhtälö spektroskopiassakin, sillä se osoittaa, että kentän reagoititiheys on todellinen avaintekijä ulkoisen magneettikentän ja hiukkasen vuorovaikutuksessa. Yhtälössä 9.12G ei ole ollenkaan kysymys suhteellisuusteoriasta eikä massan  $m$  muuttumisesta, vaan yksinkertaisesti sähkömagneettisen värähdysliikkeen nopeudesta  $\rightarrow$  vuorovaikutuskertojen lukumäärä aikayksikössä. Tämä yhtälö osoittaa myös sen, että sillä kentällä, mikä määrää värähdystiheyden  $f_s$  yhtälössä 9.12G, on ominaisnopeus  $c$  riippumatta mahdollisista erilaisista vaihenopeuksista. Aivan ilmeisesti yhtälö 9.12G pätee silloin, kun ulkoinen magneettikenttä vuorovaikuttaa atomien elektronien sähkökentän kanssa, mutta se saattaa päteä myös silloin, kun vuorovaikutus tapahtuu atomin jonkin magneettikentän kanssa. Juuri tässä kohdassa saattaa olla pieni ero synkrotronin ja spektroskoopin välillä: spektroskoopissa ulkoinen magneettikenttä vuorovaikuttaa elektronisen magneettikentän kanssa, mutta synkrotronissa se saattaa vaikuttaa myös elektronisen sähkökentän kanssa.

Edelleen merkityksellistä spektroskopiassa on se, että on tavanomaista kiinnittää joku standardimassa = standardi-ionin spektriviiva jollain keinoin ja verrata tähän sitten muita massaspektrometrin viivoja. Tämä perustuu esimerkiksi yhtälön 9.12B suoraan johdannaisyhtälöön

$$\Delta m = \Delta r \cdot qB / v \quad (9.12H)$$

Tällä tavalla voidaan verrata spektriviivojen paikkoja toisiinsa suurella tarkkuudella, mitä tarkkuutta voidaan vielä erikoisjärjestelyillä parantaa. Edelleen on kokeellisen fysiikan mukaan aivan ilmeistä, että hiukkasen massalla  $m$  ja sen lentämän matkan  $r$  välillä on lineaarinen yhteys. Tämä ei ole todellisuudessa mitenkään itsestään selvä asia ja saattaa olla, että tähän joudutaan tekemään pieniä tarkennuksia. Perusongelma spektroskopiassa on vertailumassan spektriviivan kiinnitys, sillä jos tämä poikkeaa  $1/137$ -osan todellisesta massasta, niin silloin kaikki muutkin tähän verratut massat poikkeavat  $1/137$ -osan. Itse asiassa massa ja paino kyetään kiinnittämään toisiinsa aivan tarkasti ainoastaan yhdessä ainoassa pisteessä, jolloin luonnollisin tällainen kiinnityspiste on massa  $p_0 = \text{paino } p_0 \rightarrow$  yhtälö 9.10.

Spektroskopiassa saadaan jotain tuloksia suurella tarkkuudella, mihin liittyy se uskomattomalta tuntuva asia, että nämä tulokset eivät näytä ollenkaan riippuvan molekyylin rakenteesta ja siihen liittyvistä useista sähkömagneettisista kentistä. Molekyyli rakenne on aina jäykkä eikä se koskaan ole lähelläkään mitään pallosymmetristä edes yksinkertaisten atomien tapauksessa, vaan kentillä on aina suunnat. Tämän takia olisi ollut odotettavissa, että lukuisten eri kenttien suunnilla ja erilaisilla molekyylien pyörimismäärillä olisi ollut merkittävä vaikutus spektroskopian tuloksiin. Kun näin ei ole, niin joudutaan päättelemään, että varattu hiukkanen ei pyöri kulkiessaan magneettikentässä, koska muuten erilaisilla pyörimismäärillä tulisi olla havaittava vaikutus muihin liikemääriin.

Edelleen spektroskopian tulokset osoittavat, että varauksen omaavaa kenttää lukuun ottamatta muiden atomin sähkömagneettisten kenttien vuorovaikutuksen tulee olla 0 ja erikoisesti, että moolimassalla  $M$  ei ole vaikutusta niiden vuorovaikutusvoimaan  $F$ . Fysiikan kohdassa 1 yhtälön 1.3E yhteydessä osoitetaan, että minkä tahansa atomin elektronisella sähkökentällä on teoreettinen riippuvuussuhde  $f \sim 1 / M^{1/2}$ . Kun vuorovaikuttava elektronikentän massa  $m$  on suoraan verrannollinen moolimassaan  $M$  ja kentän nopeus  $v \sim 1 / M^{1/2}$ , niin atomin elektronikentän vuorovaikutusvoimaksi saadaan

$$F = mvf \sim M \cdot M^{-1/2} \cdot M^{-1/2} \sim 1 \rightarrow F = \text{vakio} \quad (9.12I)$$

Tämä tulos on tietysti kaasuilla pääteltävissä jo Avogadron vakion olemassa olosta ja saattaa tuntua itsestään selvältä, mutta se on hyvä laskea näin. Tämä yhtälö 9.12I sanoo, että atomin koolla ei ole vaikutusta siihen voimaan, millä elektroniset sähkökentät vaikuttavat ulospäin ja jos kysymyksessä on kaksoisrakenteen vastakkaiset voimat, niin näiden nettovaikutus on 0. Tämän lisäksi spektroskopian tulokset osoittavat, että varauskenttää lukuun ottamatta muut atomien sähkömagneettiset kentät ovat joko inertejä spektroskopian magneettikentille tai niiden osuus magneettisten paineiden nettovaikutuksesta on mitätön. Kuitenkin tiedetään, että atomit reagoivat monin tavoin ulkopuolisiin magneettikenttiin, joista hyvä esimerkki on lähellä 0-lämpötilaa kriittiset magneettikentät  $B_{C1}$  ja  $B_{C2}$ , joista edellisen voidaan ajatella vuorovaikuttavan atomin elektronikentän käänteisen magneettikentän kanssa ja jälkimmäisen elektronikentän sähkökentän kanssa, mistä sitten juuri tulee niiden suuruusluokkaero (vrt. yhtälöt 4.105H ja 4.105N). Mitättömäksi voidaan olettaa myös vaakasuoran painovoiman merkitys, mikä kuitenkin aina on olemassa vaakasuorassa liikkeessä. Tämän jälkeen koetetaan tarkastella vielä yksityiskohtaisemmin, mitä spektroskopiassa tapahtuu.

Tavanomainen atomien suurin kenttäryhmä = elektronikenttien ryhmä on

$$(1 + 1) \cdot e_0 / 2 + (1 + 3) \cdot e_0 / 2 + (3 + 5) \cdot e_0 / 2 \quad (9.13A)$$

mihin kaasumaisessa olomuodossa voi olla liittyneenä elektroniryhmä  $(5 + 7) \cdot e_0 / 2$  sellaisilla molekyyileillä, joiden lämpökapasiteettisuhde on  $C_p : C_v = 1,4$  (vrt. yhtälö 9.8F). Näiltä atomeilta poistuu ionisoitumisessa ryhmä  $(3 + 5) \cdot e_0 / 2 + (5 + 7) \cdot e_0 / 2$  ja muilta ryhmä  $(3 + 5) \cdot e_0 / 2$ . Jäljelle jäävät elektroniryhmät  $(1 + 1) \cdot e_0 / 2 + (1 + 3) \cdot e_0 / 2$  sekä osa ”magneettisesta sidoksentästä”  $e_0 / (3 + 5) = e_0 / 8 \rightarrow$  yhtälön 9.8N mukaisesti atomiin jäävä osuus on  $e_0 / 8,597 = 1,036 \cdot 10^{-32}$  kg. Tästä osuudesta syntyy varaus ja varaukseen liittyvä voima, kuten yhtälöissä 9.8X ja 9.8Y on mallinomaisesti osoitettu.

Edelleen mainittu varaus jakautuu sisäisesti vastakkaissuuntaisiin voimakomponentteihin suhteessa 3:5 ja näistä komponenteista tulee myös vuorovaikutusvoima ulkoisen magneettikentän kanssa  $F = qvB$ , missä  $q$  ja  $B$  ovat sopivia toisiinsa valittuja mittalukuja ja  $v$  on varatun hiukkasen nopeus magneettikentässä  $B$ . Jos tulon  $v \cdot B$  tyypillinen arvo on  $10^6 \text{ T} \cdot \text{m/s}$ , niin tällä arvolla magneettikentän  $B$  voimavaikutus kerran ionisoituneeseen atomiin on

$$F = q \cdot vB = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ kgm} / \text{s}^2 \quad (9.13B)$$

Tämä on samaa suuruusluokkaa kuin yhtälössä 9.8Y laskettu varatun hiukkasen ”luontainen varausvoima”  $F = 8,6 \cdot 10^{-13} \text{ kgm} / \text{s}^2$ . Tästä on aihetta huomata, että jos sidoksenttä  $e_0 / 8,597$  onkin puhdas kentän osa, niin silloin ”luontaista varausvoimasta” tulee  $F = 137 \cdot 8,6 \cdot 10^{-13} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ kgm} / \text{s}^2$ . Tätä ”luontaista varausvoimaa” laskettaessa on oletettu, että vuorovaikutusnopeus on gravitaatiokentän nopeus  $137 \cdot c$  samalla tavalla kuin kaasunpaineissa, mutta ulkoisen magneettikentän vuorovaikutuksessa atomin varausmagneettiryhmän kanssa, on luonnollista pitää

vuorovaikutusnopeutena magneettikentän ominaisnopeutta  $v_m$ . Tämä nopeus on lineaarisessa suhteessa magneettivuon tiheyteen  $B$  eli  $B \sim v_m$ , koska säännöllisillä hiukkarakenteilla

$$\text{kentän ominaisnopeus } v \sim 1 / \text{ominaismitta } r \quad (9.13C)$$

Tämä yhtälö selittää sen, että miten on mahdollista, että yhtälössä  $F = q \cdot vB$  voimalla  $F$  ja magneettivuon tiheydellä  $B$  on lineaarinen suhde. Nämä edellä mainitut yhtälöt osoittavat oletettavasti senkin, että vuorovaikutus tapahtuu jokaisessa varauskentän värähdyksessä ja että tämä magneettinen värähdysluku on atomista ja sähkökentistä riippumaton. Sähkökentillä eri atomeissa onkin erilainen värähdysluku, kuten esimerkiksi äänennopeusmittauksissa voidaan päätellä. Tietysti tulee muistaa, että tulo  $v \cdot B$  kuvaa myös sitä tiheyttä, millä atomi läpäisee ulkopuolisen magneettikentän värähdystasoja, joten tulolla  $v \cdot B$  on myös luonne ”vuorovaikutuksia aikayksikössä”. Tällainen tulkinta on pätevä Lorentzin voimalle  $F = q \cdot vB$  silloin, kun johdinta kuljetetaan magneettikentässä ja tälle tulkinnalle tulee jättää pieni mahdollisuus myös spektroskopiassa. Vaikka yhtälöt näissä molemmissa tapauksissa ovat samat, niin niiden sisältö fysiikassa on erilainen.

Yhtälö 9.12A

$$q \cdot vB = mv^2 / r \quad (9.13D)$$

näyttää hyvin perustellulta klassista fysiikkaa ajatellen, mutta onko kukaan aikaisemmin ajatellut, että kysymyksessä ei ilmeisesti olekaan ympyräliike, vaan hyvin tiheistä täysin suorista jaksoista muodostunut murtoviiharata. Tämä ajatellaan seuraavasti: hiukkanen pitää aina suuntansa gravitaatiokentän suhteen sekä kentän polarisoitumisen että hiukkaseen kohdistuvan voimatasapainon takia. Näinhän juuri valohiukkasille käy ja siksi valohiukkaset kulkevat tunnetusti suoraan gravitaatiokentän suhteen. Kun varattuun hiukkaseen kohdistuu kulkurataan nähden kohtisuoraan toiselta puolelta liikemäärän törmäys ja nettovoima  $F$ , niin hiukkasen suunta muuttuu kerralla niin kuin biljardipallojen törmäyksessä ja hiukkanen saa uuden suoran suunnan gravitaatiokentän suhteen. Kun tämä toistuu  $n$  kertaa, niin hiukkanen on tehnyt puoliympyrän, jonka säteen  $r$  määrittämisessä pätee yhtälö  $q \cdot vB = mv^2 / r$ , mutta tämän yhtälön oikeutukselle joudutaan löytämään uudet selitykset

Koska hiukkasen kulkema matka  $d$  vuorovaikutusten välillä on suoraan verrannollinen nopeuteen  $v \rightarrow d \sim v$ , niin tämä takia hiukkasen kulkema matka  $r$  on suoraan verrannollinen nopeuteen  $v$ , mikä näkyy myös kirjoittamalla yhtälö 9.13C toiseen muotoon

$$q \cdot B = m \cdot (v / r) \quad (9.13E)$$

$$\rightarrow q \cdot r \cdot B = mv \quad (9.13F)$$

Yhtälö 9.13E saattaa olla se alkuperäinen yhtälö, mihin fysiikan todellisuus pätee ja siitä on sitten saatu matemaattisesti yhtälö 9.13D kertomalla yhtälön molemmat puolet muodollisesti nopeudella  $v$  ja tämän jälkeen tälle yhtälölle on keksitty selitys, vaikka alkuperäinen yhtälö 9.13E ei sisällä ympyräliikettä ollenkaan. Jos oletetaan, että fysiikka kykenee kokeellisesti vahvistamaan yhtälössä 9.13E massan lineaarisen riippuvuuden tulontekijöistä  $B$  ja  $(r / v)$ , niin ongelmaksi jää oikean todellisen massan määrittäminen vertailumassalle. Jos tämä vertailumassa onkin 1/137 -osan liian pieni, niin kaikki muutkin massat ovat suhteessa  $(1 - 1/137)$  liian pieniä, mutta kaikki yhtälöt ja matematiikka pysyvät ennallaan.

Tämän jälkeen voidaan konkreettisesti tarkastella hiiliatomeja  $C^{12}$ , mihin fysiikka on tehnyt atomipainojen keinotekoisesta kiinnityksestä. Hiilen  $C^{12}$  atomipaino on

$$C^{12} = 12 \cdot U = 1,992648252 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \quad (9.14A)$$

Fysiikan kohdan 5 yhtälön 5.8 yhteydessä osoitetaan, että yhtälön 9.2 ensimmäisen termin eli gravitaatiokentän liikkeen vaikutus painoon on hyvin pieni maapallolla. Tästä seuraa, että atomin paino maapallolla riippuu ytimen painovoimareaktioista ja että uloimpien elektronikenttien koolla ei ole mitattavaa vaikutusta atomin painoon. Tämän takia voidaan sanoa, että atomimassalla  $N \cdot p_0$  on yhtälön 9.11L mukainen paino, mikä on muotoa

$$\text{atomipaino} = N \cdot p_0 \cdot (1 - 1 / 137 + n / (N \cdot 274)) \quad (9.14B)$$

Yhtälön 9.14B kolmas termi kuvaa itse asiassa mitä tahansa painovoimareaktioihin vaikuttavaa tekijää, missä päättyvät protoniketjut  $n$  ovat vain yksi osa. Hiilen atomipainolle voidaan laskea tarkka arvo

$$(12 \cdot U) / (12 \cdot p_0) = U / p_0 = 0,992774575 \quad (9.14C)$$

$$= 1 - 1 / 138,4001761 \quad (9.14D)$$

$$\rightarrow 12 \cdot U = 12 \cdot p_0 \cdot (1 - 1 / 137,022 + 1 / 13760,54903) \quad (9.14E)$$

$$= 1,992648252 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

Tarkat tulokset 9.14A ja 9.14E ovat tässä yhteydessä suhteellinen käsite ja pätevät silloin, kun tuloksesta 9.14A tehdään määritelmä. Kuitenkaan fysiikka ei mittaa hiiliatomia  $C^{12}$ , vaan sen ionia  $C^+$  ja sen selvittämiseksi, mitä tällöin mitataan, joudutaan tutkimaan elektronikenttien rakennetta. Nämä voidaan määrittellä käänteisistä ionisaatioenergioista ja yksinkertaisissa tapauksissa apuna voidaan käyttää tietoja spektreistä, jotka aina ovat joidenkin käänteisten elektronikenttien kuvaajia. Hiilen tapauksessa näitä spektrirakenteita kuitenkin aivan ilmeisesti selvittävät ne ”irrationaaliset makromolekyyliset elektronirakenteet”, mitkä tulevat jäljempänä esille. Hiilen  $C^{12}$  elektroniryhmärakenteeksi saadaan

$$\left. \begin{array}{l} 1 + 3 + 5 + 7 \\ 1 + 1 + 3 + 5 \end{array} \right\} 26 \quad (9.14F)$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 + 3 + 5 \\ 1 + 1 + 3 \end{array} \right\} 14$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 + 3 + 1/2 \\ 1 + 1 \end{array} \right\} 6 \frac{1}{2}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 + 3 - 1/2 \\ 1 + 1 \end{array} \right\} 5 \frac{1}{2}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 1 \end{array} \right\} 2$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 1 \end{array} \right\} 2$$

---


$$56 \cdot e_0 / 2 = 28 \cdot e_0$$

Hiilellä  $C^{12}$  on elektronikenttien ryhmärakenteissa yksikkö  $e_0 / 2$ . Jokainen sisimmäinen elektroniryhmä  $(1 + 1) \cdot e_0 / 2$  sisältää varausryhmän  $-q_0$  jokaista elektronia  $e_0$  kohti ja muut ulommat elektroniryhmät sisältävät vastaavasti varausryhmän  $+q_0$  jokaista elektronia  $e_0$  kohti. Tämä varausryhmien liittyminen elektronikenttiin näyttää olevan samanlainen kaikilla atomeilla. Tämän lisäksi on huomattava, että protonin  $p_0$  normaali kenttä sisältää massana yhden elektronin  $e_0$  jokaista protonia  $p_0$  kohti, mutta vain joka toisesta protonista  $p_0$  atomiytimessä on poistunut varausryhmä  $-q_0 \rightarrow$  ikään kuin kaksi protonia  $p_0$  muodostaisivat parin. Mielenkiintoista on, että tällä tavalla atomiydin muodostuu varauksettomista protoneista  $p_0$  ja positiivisesti varautuneista protoneista  $p^+$  perussuhteessa 1:1, mikä sama ajatus on fysiikassa tunnettu jo kauan. Erillisten hiiliatomien  $C^{12}$  ja yksinäisten spektroskopiassa esiintyvien hiili-ionien  $C^+$  massoiksi voidaan tämän jälkeen laskea

$$\text{”ydin”} = 12 \cdot p_0 - 12 \cdot e_0 - 6 \cdot q_0 \quad (9.14G)$$

$$\text{”elektronikentät”} = + 28 \cdot e_0 + 16 \cdot q_0$$

$$\text{yhteensä} = 12 \cdot p_0 + 16 \cdot e_0 + 10 \cdot q_0 \quad (9.14H)$$

$$= 2,00729581 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \quad (9.14I)$$

Ionisaatiossa rakenteesta 9.14F poistuu suurimmasta elektroniryhmästä kaksi ulointa ryhmää, mitkä enemmän tai vähemmän sattumalta ovat yhteensä hyvin lähellä elektronia  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

$$\text{hiiliatomi} = 12 \cdot p_0 + 16 \cdot e_0 + 10 \cdot q_0 \quad (9.14J)$$

$$\text{poistuu} = - 10 \cdot e_0 - 10 \cdot q_0$$

$$\text{jäljellä} = 12 \cdot p_0 + 6 \cdot e_0 + 0 \cdot q_0 \quad (9.14K)$$

$$= 2,00720421 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \quad (9.14L)$$

Kun ionisaatiossa poistetaan elektroniryhmät  $(3 + 5)$  ja  $(5 + 7)$ , niin magneettikentän aiheuttaman voiman ja yhtälöiden 9.8J ja 9.8U mukaisesti näistä jää kentät

$$e_0 / 8,5979673 = 1,035937801 \cdot 10^{-32} \text{ kg} \quad (9.14M)$$

$$8 \cdot 1,03 \cdot 10^{-32} / 12 = 6,906252 \cdot 10^{-33} \text{ kg} \quad (9.14N)$$

$$\text{yhteensä} = 1,726563 \cdot 10^{-32} \text{ kg} \quad (9.14O)$$

Kun tämä lisätään tulokseen 9.14L, niin saadaan ionin  $C^+$  massa

$$C^+ = 2,007205937 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \quad (9.14P)$$

Kentän 9.14N voidaan ajatella pilkkoutuvan tasan ionin  $C^+$  muille kentille samantapaisesti kuin Nobel-fysiikassa 1998 esitetään tapahtuvan ja kenttä 9.14M jää voimaan jakeen  $(1 + 3)$  ylläpitämänä. Seuraavaksi lasketaan ionin  $C^+$  paino atomimassayksiköissä  $u$ . Tämä saadaan vähentämällä atomimassasta  $12 \cdot u$  elektronin  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 5,485798958 \cdot 10^{-4} u$  massa

$$12 \cdot u - 5,48 \cdot 10^{-4} \cdot u = 11,99945142 \cdot u \quad (9.14Q)$$

Tämä on nyt se massa, mitä fysiikka ajattelee todellisuudessa mittaavansa. Kun yhtälössä 9.14Q jätetään  $u$  avoimeksi ja sovelletaan tätä yhtälöä tulokseen 9.14P, niin saadaan todelliseksi oikeaksi atomimassayksiköksi hiilelle ja protonia kohti

$$u_{c^+} = 2,0072 \cdot 10^{-26} / 11,999 \quad (9.14R)$$

$$= 1,672748084 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.14S)$$

$$\rightarrow u / u_{c^+} = 1 - 1 / 137,0220652 \quad (9.14T)$$

$$= 1 - 1 / 137,0220425 + 1,2 \cdot 10^{-9} \quad (9.14U)$$

$$= 1 - 1 / 137,0220425 \text{ tasan} \quad (9.14V)$$

Tulos 9.14V syntyy tasan parhailla mahdollisilla kirjallisuusarvoilla ja on niihin nähden liiankin hyvä, mutta näin käy usein fysiikassa  $\rightarrow$  tuntemattomasta syystä tutut alkiryhmät jatkavat ilmestymistään yhtälöihin kaukana todellisten mittaustarkkuuksien ulkopuolella. Yhtälöt 9.14T ja 9.14V pätevät, kun yhtälö 9.11J pätee, mikä tarkoittaa matemaattisesti, että hiiliytimessä  $C^{12}$  jokainen protoni  $p_0$  on sidostunut toisiinsa kaksoissidoksin muodostaen täydellisen renkaan  $\rightarrow$  käytännössä tämä tulee ymmärtää kahdeksi renkaaksi  $2 \cdot 6 = 12$ , minkä renkaissa protonit ovat yksinkertaisin sidoksin kiinni toisissaan ja yksinkertaisella sidoksella kiinni toisessa renkaassa  $\rightarrow$  ikään kuin 2 bentseenirengasta olisi sidostunut päällekkäin. Mielenkiintoista on, että tällä tavalla atomiytimessä näyttää olevan samankaltaisia rakenteita kuin molekyyileillä. Tulos 9.14V tarkoittaa yksiselitteisesti, että fysiikka on valinnut hiilen  $C^{12}$  atomipainon atomimassaksi, mutta mikäli pidetään kiinni määritelmästä massa  $p_0 =$  paino  $p_0$ , niin hiiliatomin massa on

$$C^{12} = C^+ + 10 \cdot e_0 + 10 \cdot q_0 - 1,72 \cdot 10^{-32} \quad (9.14X)$$

$$= 2,00729581 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \quad (9.14Y)$$

Mikä luonnollisesti on sama tulos kuin 9.14I. Yksinäisen hiiliatomin elektronikentät = yhtälö 9.14F vastaavat noin 3 elektronia  $e_{91}$  ja tämän rakenteen ioni on se, mitä spektroskopiassa mitataan. ”Perinteisen” fysiikan ajattelun mukaan elektroneja tulisi olla 6, joten 3 elektronia  $e_{91} \rightarrow 32 \cdot e_0$  puuttuu. Vaikka mitenkään fysiikassa ei ole perusteltua ajatella, että atomissa on  $n$  protonia ja  $n$  elektronia  $e_{91}$ , niin siitä huolimatta näitä yksittäisestä atomista puuttuvia elektroneja voi olla hiili  $C^{12}$  materiassa atomien yhteisinä ”irralisina” makromolekyyliin rakenteina samankaltaisesti kuin metalleilla. On jopa mahdollista, että nämä esiintyvät rakenteina  $(3 + 5) \cdot e_0 / 2 + (5 + 7) \cdot e_0 / 2$ , mitkä sitten liittyneinä yhtälöön 9.14M voivat antaa muodollisesti ja matemaattisesti oikeita tuloksia sekä spektreille että hiilimateriakappaleille. Tämä edellä esitetty tarkoittaa sitä, että yksittäisen atomin massa on erilainen silloin, kun se on yksinäinen kuten spektroskopiassa, verrattuna atomiseen massaan silloin, kun atomit muodostavat suuremman määrän materiaa. Tämä pätee tietysti aina siellä, missä materiaa syntyy atomien yhteisiä ”makromolekyyliisiä” kenttärakenteita ja pienennytyssä mittakaavassa tämä pätee jopa kaasuille, kuten fysiikan kohdan 1 yhteydessä on kuvattu. Näiden yhteisten kenttien merkitys voi olla hyvinkin suuri, mutta massasta niiden osuus kaasuille on mitätön ja kiinteillä aineilla vähäinen, mutta ei mitätön.

Nämä edellä esitetyt rakenteet ja niiden matemaattisten tulosten hyvin suuri tarkkuus eivät ollenkaan ole mahdollisia sattumanvaraisina, joten niissä tulee olla ainakin jotain todellisuutta mukana. Kun protonit  $p_0$  muodostavat atomiytimessä puhtaan renkaan, millä tarkoitetaan, että kukin protoni  $p_0$  reagoi tarkalleen neljällä alkiryhmällä yhtälön 9.11J mukaisesti muihin protoneihin  $p_0$ , niin voidaan kirjoittaa yhtälö

$$\text{atomipaino} = \text{atomimassa} \cdot (1 - 1 / 137,0220425) \quad (9.14Z)$$

Koska tämä sama tulos koskee kaikkia atomeja vetyä lukuun ottamatta, niin tällainen avaintärkeä asia saattaa todellakin jäädä fysiikalta huomaamatta vuosikymmeniksi siihen asti, kunnes joku osoittaa sen olemassaolon. Kun sitten erilaisin keinoin ja yhtälöön 9.14Z nähden vähäisin muutoksin atomipainot on laitettu täsmäämään atomimassoihin, niin on saatu jopa 9 numeron ekvivalenssi atomipainoille ja atomimassoille, mikä ei mitenkään muuten ole mahdollista kuin valitsemalla atomipainot massoiksi. Taulukossa 9.15 on osoitettu, että fysiikan atomipainot tulevat juuri tällä tavalla ja että sen kolmannen termin käännepeiste on todellisuudessa juuri hiili C<sup>12</sup>. Tässä taulukossa luku 137 tarkoittaa yhtälön 9.11I mukaista magneettijakeisiin liittyvää tarkkaa tulosta 137,022042566.

Alkuaine	A	Atomipaino	(9.15)
He	4	$4 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 + 1 / 1391)$	
Li	7	$7 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 + 1 / 427)$	
Be	9	$9 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 + 1 / 706)$	
B	11	$11 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 + 1 / 1096)$	
C	12	$12 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 + 1 / 13760)$	
N	14	$14 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 + 1 / 3440)$	
O	16	$16 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 4117)$	
F	19	$19 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 91818)$	
Ne	20	$20 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 3302)$	
Ar	40	$40 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 1161)$	
Fe	56	$56 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 925)$	
Ag	107	$107 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 1237)$	
Pt	195	$195 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 9371)$	
Au	197	$197 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 10423)$	
Hg	202	$202 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 13939)$	
Pb	208	$208 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 - 1 / 25715)$	
U	238	$238 \cdot p_0 (1 - 1 / 137 + 1 / 3514)$	

Sen lisäksi, että atomipainot ovat painoja, tämä taulukko osoittaa, että atomiytimet ovat rakentuneet yksinomaan protoneista  $p_0$ . Neutroni voi olla protonin toinen olomuoto eli oskillointivaihe tai se voi

olla atomissa juuri se protonin  $p_0$  muoto, mihin on ”atomimaisesti” kasvanut ylimääräinen elektronikenttä  $n \cdot e_0$ . Edellä olevalla ei siis ollenkaan tarkoiteta, etteikö neutroneja olisi olemassa tai syntyisi esimerkiksi atomien pilkkoutumisen yhteydessä. Vapaana nämä neutronit sitten nopeasti saavat protonisen olomuodon, mikä on tunnettu tulos. Protonia ja neutronia on yksityiskohtaisesti selostettu fysiikan kohdassa 7A.5, mutta kerrataan tässä yhteydessä muutama yksityiskohta. Protonin ja neutronin ero ei tule ollenkaan itse atomiytimestä, vaan sen kentistä  $\rightarrow$  joko ytimen kentän ensimmäisestä kondensoitumispiisteestä  $p_i$  tai sen toisesta kondensoitumispiisteestä  $n \cdot e_0$ . Sekä protoniytimen että sen kentän  $p_i$  voidaan ajatella mallinomaisesti olevan yhtälön 9.16A mukaista rakennetta

$$\begin{aligned} & 1/2 + (1/2 + 1/2) + (1/2 + 3/2) + (3/2 + 5/2) + (5/2 + 7/2) + (7/2 + 9/2) + (9/2 + 11/2) + (11/2 + 13/2) + 13/2 \\ & + \\ & 1/2 + (1/2 + 1/2) + (1/2 + 3/2) + (3/2 + 5/2) + (5/2 + 7/2) + (7/2 + 9/2) + (9/2 + 11/2) + 11/2 \\ & + \\ & 1/2 + (1/2 + 1/2) + (1/2 + 3/2) + (3/2 + 5/2) + (5/2 + 7/2) + (7/2 + 9/2) + (9/2 + 11/2) + (11/2 + 13/2) + 13/2 \end{aligned} \quad (9.16A)$$

$$= 50 + 37 + 50 = 137 \text{ alkioryhmää}$$

Vaakasuorassa suunnassa ”sähköjakeet” sidostuvat toisiinsa käänteisin ”magneettijakein”, mitkä samalla ovat osa hiukkasen kondensoitumispiistettä ja samantapaisesti kuin elektronikentässä on edellä kuvattu tapahtuvan. Pystysuorassa suunnassa sähköjakeet kykenevät kommunikoimaan toinen toistensa kanssa joko suoraan sähkökentän käänteisinä vaihtohiukkasina tai yhteisten kenttien kondensoitumispiisteiden kautta ja voidaan hyvin ajatella, että yhtälö 9.16A on jossain muodossa rengas tai spiraali. Oleellista ovat kaksi suurinta jaetta  $13/2$ , mistä nyt mallinomaisesti ajateltuna voi tulla kiertävä pari  $(11/2 + 13/2) \cdot p_i$  tai  $(11/2 + 13/2) \cdot e_0$ , mikäli toisesta jakeesta irtoaa kentäksi vastaavasti  $2 \cdot p_i / 2$  tai  $2 \cdot e_0 / 2$ . Näin juuri voidaan ajatella käyvän ja tällöin syntyy kuva protonista  $p_0$  oikean suuruisena ja oikean rakenteisena. Atomien maailmassa elektronikenttä  $2 \cdot e_0 / 2$  ei tyydy tähän olomuotoon, vaan kasvattaa itselleen kaksinkertaisen rakenteen

$$1/2 + (1/2 + 1/2) + (1/2 + 3/2) + (3/2 + 5/2) + (5/2 + 7/2) \quad (9.16A)$$

$$= e_0 / 2 + 13 \cdot e_0 \quad (9.16B)$$

Kun protonin  $p_0$  ja neutronin  $n$  välinen massaero on  $2 \cdot 13 e_0 = 26 e_0$  (vrt. kohta 7A.5 yhtälö 7A.51F), niin se tulee juuri tästä hiukkasryhmästä, mikä voi esiintyä joko kondensoitumispiisteen  $n \cdot p_i$  kahtena jakeena  $2 \cdot 13 e_0$  tai kahtena erillisenä elektronikenttänä  $\rightarrow$  tämä tarkoittaa, että protonin ja neutronin massaero ei ole peräisin atomiytimistä vaan kentistä ja tämä taas aivan ilmeisesti tarkoittaa, että protonilla ja neutronilla ei ole painoeroa, mutta niillä on edellä laskettu massaero  $n - p_0 = 2,30297 \cdot 10^{-30}$  kg. Se, että erotus  $13 \cdot e_0$  voi esiintyä elektronikenttänä käy hyvin ilmi juuri yhtälöstä 9.16B, mikä on tyypillinen kaasuatomien elektronikenttien muoto sellaisilla kaasuilla, joilla ominaislämpösuhde on  $C_p : C_v = 1,4$ . Tämän jälkeen voidaan tämä asia laskea vielä tarkasti ja matemaattisesti. Ensinnäkin erotus  $n - p_0$  on

$$n - p_0 = 2,302970 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \quad (9.16D)$$

$$= 25,8558495 \cdot e_0 \quad (9.16E)$$

Tämä yhtälö voidaan mittaustarckkuuksien rajoissa kirjoittaa muotoon

$$n - p_0 = 26 \cdot 0,9928 \cdot e_0 + e_0 / (11 + 13) \quad (9.16F)$$

$$= 25,85591823 \cdot e_0 \quad (9.16G)$$



$$= 2,302976123 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \quad (9.16H)$$

$$- n = 1,674928616 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.16I)$$

Tämä yhtälö 9.16F sisältää sen, että edellä mainitut 26 jaetta ovat ”magneettijakeita”, jotka ovat kertoimella  $10 \cdot 13,6 / 137 = 0,9928558295$  pienempiä kuin ”sähköjakeet”. Tekijä  $e_0 / (11 + 13)$  on tavanomainen kentän  $(11 + 13)$  magneettinen käänteinen sidosjake. Nämä molemmat edellä mainitut tekijät viittaavat siihen, että kysymyksessä saattaa olla protonin  $p_0$  kentän ensimmäisen kondensoitumispisteen  $p_i$  jae  $13 \cdot e_0$ . Tällä tavalla on selvitetty, että neutroni syntyy, kun useampi kertaiset protoniyhdistelmät pilkkoutuvat siten, että yhdelle protonille jää ylimääräinen yhdistelmä  $2 \cdot 13 \cdot e_0^+ = 26 \cdot e_0^+$ , missä  $e_0^+$  on eräs tunnettu ”magneettijake”. Tämän jälkeen voidaan tarkastella vielä vetyä  $H = H_2 / 2$  samalla tavalla kuin hiiltä  $C^{12}$ . Vedyn atomipainoksi saadaan

$$1,0078250 \cdot u = 1,673533937 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.17A)$$

Jos vety lasketaan suoraan tunnetun protonin  $p^+$  ja elektroniryhmän  $e_{91}$  summana, niin atomimassaksi saadaan

$$p^+ + e_{91} = p_0 - q_0 + 10 \cdot e_0 + 8 \cdot q_0 \quad (9.17B)$$

$$= p_0 + 10 \cdot e_0 + 7 \cdot q_0 \quad (9.17C)$$

$$= 1,673534049 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.17D)$$

Näiden tulosten 9.17A ja 9.17D välinen erotus on

$$1,12 \cdot 10^{-34} \text{ kg} = q_0 / 22,6 \quad (9.17E)$$

ja ne ovat fysiikan todellisissa mittaustarkkuuksissa yhtä suuret. Vetyatomin paino kuitenkin on luonnollisesti

$$\text{paino } H = \text{paino } p_0 = 1,672625640 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.17D)$$

Vetyatomin tapauksessa voidaan siis sanoa, että

$$\text{massa } p_0 + \text{kenttä } H = \text{paino } p_0 + \text{kenttä } H \quad (9.17E)$$

mikä johtuu siitä, että atomeista vain vetyatomilla pätee massa  $p_0 = \text{paino } p_0$ . Vetyatomi on muutenkin erikoisasemassa atomien maailmassa, sillä sen ydin on ainoa, missä protonilla  $p_0$  ei ole yhtään läheistä vuorovaikutusparia — tämä saattaa johtaa määrättyltä osaltaan kentän alkiorhmiin jakautumiseen, jolloin  $n/2$  -tyyppisistä rakenteista voi tulla  $n/4$  -tyyppisiä rakenteita, mikä näyttää sitten olevan vallitseva myös protonin  $p_0$  ydinrakenteissa. Tämän jälkeen voidaan tarkastella vetyatomin kenttää hieman tarkemmin. Vedyllä ja hapella on suurimman ulomman kenttäryhmän käänteinen ionisaatioenergia yhtä suuri = 1310 kJ / mooli ja siitä voidaan päätellä, että näiden suurin elektroniryhmä on samanrakenteinen. Hapella tämä suurin ryhmä on joko elektroniryhmä  $(7/2 + 9/2) \cdot e_0$  (vrt. kaaviokuva 4.95) tai sitten pienin käänteinen ionisaatioenergia on vain elektroniryhmään  $(5/2 + 7/2) \cdot e_0$  liittyvä käänteinen magneettijake, jonka sisäinen rakenne on muotoa  $1 / (7 + 9)$ . Vedyn lämpökapasiteettisuhde  $C_p : C_v = 1,4 = 7 : 5$  osoittaisi jälkimmäisen vaihtoehdon pätevän, joten käytetään sitä ja kirjoitetaan vetyatomin elektronikentäksi

$$\begin{array}{cccccc} 3 & 1 & 1 + 4 \cdot e_0 / 4 + 1 & 1 & 3 & 5 \\ 5 & 3 & 1 & 1 & 3 & 5 & 7 \end{array} \quad (9.17F)$$

$$= 4 \cdot e_0 / 4 + 40 \cdot e_0 / 4 \quad (9.17G)$$

$$= e_0 + 10 \cdot e_0 \quad (9.17H)$$

Vedyn kenttäkuvassa 9.17F keskellä voidaan ajatella olevan magneettijakeiden  $4 \cdot e_0 / 4$  ja sivuilla elektroniryhmien, joiden yksikkö on myös  $e_0 / 4$ . Kun molempien elektronikenttien ensimmäinen jae  $1 = e_0 / 4$  ajatellaan juuri sellaiseksi käänteiseksi magneettijakeeksi  $e_0 / (1 + 3)$ , joita kuvataan taulukon 9.8J yhteydessä, niin nämä muodostavat yhdessä magneettijakeiden  $4 \cdot e_0 / 4$  kanssa samankaltaisen kondensoitumispisteiden kehän  $6 \cdot e_0 / 4$  kuin mitä protoneilla on ytimessään ja mikä on esitetty kuvassa 9.11E. On kiehtovaa ajatella, että samantyyppiset rakenteet periytyvät atomissa kerroksittain ja että ne saattavat periytyä myös sekä protoniryhmien rakenteisiin atomiytimessä että atomiryhmien = molekyylien rakenteisiin. Seuraavaksi ajatellaan, että alkiryhmä  $e_0 / 4$  ei ole atomissa aivan tasalukuinen, mutta siitä tulee tasalukuinen, kun siihen joko lisätään alkiryhmä  $q_0 / 4$  tai vähennetään alkiryhmä  $q_0 / 4$ . Atomien varausjakaumaa ajatellen elektronikentän ytimestä  $6 \cdot e_0 / 4$  näitä siten puuttuu ja uloimmissa elektroniryhmissä on yksi ylimääräinen jokaista ryhmää  $e_0 / 4$  kohti. Osoittautuu, että tällä tavalla tullaan järkeviin rakenteisiin, mikä lopulta johtaa siihen, että hiukkasfysiikkaa voidaan laskea jopa 10 numeron tarkkuudella — tämä on eräs perusta, mille tarkat arvot  $p_0$  ja  $e_0$  on laskettu. Yhtälön 9.17F elektroniryhmistä saadaan laskettua

$$(12 \cdot e_0 / 4 + 12 \cdot q_0 / 4) + (2 \cdot e_0 / 4 - 2 \cdot q_0 / 4) + (2 \cdot e_0 / 4 - 2 \cdot q_0 / 4) + (24 \cdot e_0 / 4 + 24 \cdot q_0 / 4) \quad (9.17I)$$

$$= 10 \cdot e_0 + 8 \cdot q_0 \quad (9.17J)$$

Kun magneettijakeiden  $4 \cdot e_0 / 4$  osalle tulee  $-4 \cdot q_0 / 4 = -q_0$ , niin koko vetyatomille saadaan

$$H = p_0 - q_0 + 10 \cdot e_0 + 8 \cdot q_0 = p_0 + 10 \cdot e_0 + 7 \cdot q_0 \quad (9.17K)$$

Tämä on sama tulos kuin 9.17C ja massaltaan sama tulos kuin tuttu massa 9.17A. Yhtälössä 9.17K viimeisessä termissä tarkka alkiryhmän muoto saattaa olla  $7 \cdot (1 - 1 / 138,022) \cdot q_0$ , mutta tämä tarkkuus on jo fysiikan kokeellisten tarkkuuksien ulkopuolella. Kun kokeellisten tulosten mukaan yhtälö 9.17K pätee massana, niin yhtälöt 9.17I ja 9.17F saattavat hyvinkin päteä rakenteina.

Rakenteessa 9.17F elektroniryhmien summa on massaltaan elektroni  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg ja on mahdollista, että nämä todellisuudessa muodostavat yhteisen kaksoisrakenteen. Yhtä hyvin on mahdollista, että ne ovat erillinen kaksoisrakenne ja kun syntyy molekyyli  $H_2$ , niin toisen atomin kenttä  $(5 + 7) \cdot e_0 / 4$  vuorovaikuttaa toisen atomin kentän  $(3+5) \cdot e_0 / 4$  kanssa, jolloin vetymolekyylillä  $H_2$  olisikin samantyyppinen kaksoissidos kuin hapella  $O_2$  (vrt. yhtälö 4.100), mutta rakenteeltaan pienempänä. Mahdollista on sekin, että vetymolekyyli syntyy samojen elektronikenttien vuorovaikuttaessa keskenään. Tämä tarkoittaa, että vetymolekyyliä onkin olemassa kahta eri lajia, mikä sinänsä on tunnettu asia. Tämä kaikki sopii hyvin siihen kuvaan, missä elektronipilvi yhdistää kaksi vetyatomia toisiinsa, mutta tämä sopii hyvin myös siihen, että kaksi elektroniryhmää massaltaan  $e_{91}$  yhdistää kahta vetyatomia toisiinsa. Tärkein lopputoteamus tässä yhteydessä kuitenkin on, että vetyatomin erikoistapauksessa fysiikan kokeellinen tulos 9.17A vetyatomille massana  $1,673533937 \cdot 10^{-27}$  kg pätee, mutta painona ei, kun tämä asia muilla atomeilla näyttää olevan päinvastoin.

Seuraavaksi tarkastellaan heliumia tavallista yksityiskohtaisemmin sen takia, että juuri heliumiin liittyvät mitattavat väärinkäsitykset sekä fuusioenergian tuottamisesta että tähtien energian tuotosta. Kirjoitetaan aluksi mahdollinen rakenneyhtälö helium-atomin elektronikentille, kun tiedetään, että heliumilla  $C_p : C_v = 5 : 3$

$$\begin{array}{r}
3 \ 5 \\
1 \ 3 \\
1 \ 1 \\
5 \ 3 \ 1 \quad 1 \ 1 \ 3 \\
3 \ 1 \ 1 \quad 1 \ 3 \ 5 \\
1 \ 1 \\
3 \ 1 \\
5 \ 3
\end{array} \tag{9.18A}$$

Tässä heliumin kenttien rakenneyhtälössä on nyt yksikkö  $e_0$ , kun se vedyn yhtälössä 9.17F oli  $e_0 / 4$ , mitkä yhtyvät yhtenäiseksi rakenteeksi  $e_0 / 2$  ja mikä näkyy sitten myös spektreissä. Esimerkiksi ”perinteisen” tasoajattelun tasojen  $2 - 1$  erotuksen aallonpituudet ovat vedyllä  $\lambda(H) = 121,567 \text{ nm}$  ja heliumilla  $\lambda(He) = 58,4334 \text{ nm}$ , koska kyseessä ovat elektronien kenttien käänteiset alkiryhmät. Kun ytimen protoneista joka toiselta puuttuu alkiryhmä  $-q_0$  eli  $p_0 - p^+$  ja kun protonien  $p_0$  massaan sisältyy jo yksi kentän elektroni  $e_0$ , niin heliumin massaksi saadaan

$$\begin{array}{l}
\text{”elektroniryhmät”} = + 56 \cdot e_0 + 40 \cdot q_0 \\
\text{”ydin”} = 4 \cdot p_0 - 4 \cdot e_0 + 2 \cdot q_0
\end{array} \tag{9.18B}$$

$$\begin{array}{l}
\text{He-atomi} = 4 \cdot p_0 + 52 \cdot e_0 + 38 \cdot q_0 \\
= 6,695230333 \cdot 10^{-27} \text{ kg}
\end{array} \tag{9.18C}$$

Kenttäryhmä 9.18B syntyy, kun huomioidaan se jo hiiliatomin  $C^{12}$  yhteydessä esitetty asia, että sisimmäinen elektroniryhmä  $(1 + 1) \cdot e_0 / 2$  sisältää alkiryhmän  $-q_0$  jokaista elektronia  $e_0$  kohti ja ulommat elektroniryhmät sisältävät alkiryhmän  $+q_0$  jokaista elektronia  $e_0$  kohti. Fysiikan ”perinteisistä” atomipainoista voidaan laskea tulos

$$4,0026033 \cdot 1,66054021 \cdot 10^{-27} = 6,646483724 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \tag{9.18E}$$

Tämä tulos on kuitenkin laskettu helium-ionista  $He^+$  siten, että on merkitty

$$He^+ + e_{91} = 4,0026033 \cdot u \tag{9.18F}$$

$$- He^+ = 4,0026 \cdot u - 5,485798958 \cdot u \tag{9.18G}$$

$$= 4,00205472 \cdot u \tag{9.18H}$$

$$= 6,645572785 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \tag{9.18I}$$

Todellinen mittaustulos koskee siis tulosta  $He^+ = 4,00205 \cdot u$  ja sitä on verrattu hiili-ionin tulokseen  $C^+ = 11,99945142 \cdot u$ . Tämän takia on laskettava  $He^+$  -ionin massa, mikä saadaan poistamalla rakenteesta 9.18A yksi uloin elektroniryhmä  $(3 + 5) \cdot e_0$  ja siihen liittyvä alkiryhmä  $(3 + 5) \cdot q_0$ , joista kuitenkin jää jäljelle yhtälön 9.8U mukainen ”sidoksetä”  $e_0 / 8,5979673$ .

$$\begin{array}{l}
\text{He-atomi} = 4 \cdot p_0 + 52 \cdot e_0 + 38 \cdot q_0 \\
\text{poistuu} = - 8 \cdot e_0 - 8 \cdot q_0 + e_0 / 8,59
\end{array} \tag{9.18J}$$

$$\begin{array}{l}
\text{He}^+\text{-ioni} = 4 \cdot p_0 + 44 \cdot e_0 + 30 \cdot q_0 + e_0 / 8,59 \\
= 6,69450667 \cdot 10^{-27} \text{ kg}
\end{array} \tag{9.18K}$$

$$\tag{9.18L}$$

Ionisaatiotulosta  $He^+ = 4,00205472 \cdot u$  vastaa yksinäisenä hiukkasena spektroskopiassa yksinäisen hiili-ionin massa  $C^+ = 11,99945142 \cdot u$  ja näiden yksinäisten ionien massa voi olla suhteellisestikin eri asia kuin atomien massa suuressa atomimäärän yhdistelmässä, koska atomiyhdistelmien massaan liittyy ”irralaisia” yhtenäisiä elektronikenttien ”makroskooppisia” rakenteita. Atomipainot ovat edelleenkin tietysti eri asia ja ne liittyvät vain protoniydinten painovoimareaktiivisiin kenttäryhmiin. Kun hiili-ionin  $C^+$  todellinen massayksikkö on  $u_c = 1,672748084 \cdot 10^{-27}$  kg, silloin kun määritellään protonin  $p_0$  massa = protonin  $p_0$  paino, niin myös helium-ionille saadaan todellinen spektrometrinen massatulos

$$He^+ = 4,00205 \cdot 1,67274 \cdot 10^{-27} = 6,694429365 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.18M)$$

Tämä ei ole tarkalleen sama tulos kuin yhtälössä 9.18L ja näiden tulosten välinen massaero on

$$\text{massaero} = 7,73035 \cdot 10^{-32} \text{ kg} \quad (9.18N)$$

$$= 0,867917 \cdot e_0 \quad (9.18O)$$

$$= 30,5507 \cdot q_0 \quad (9.18P)$$

Massaero spektrometrisesti mitatun tuloksen 9.18M ja tavanomaisista elektronikentistä lasketun tuloksen 9.18L välillä on tämän mukaisesti  $30,55 \cdot q_0 = 7,73 \cdot 10^{-32}$  kg. Tämä on juuri se alkoryhmämäärä  $30 \cdot q_0$ , mikä esiintyy  $He^+$  -ionin yhtälössä 9.18K ja tämä taas antaa aiheita ajatella, että  $He^+$  -ioni ei käyttäydykään elektronikentiltään tavanomaisesti vaan jotenkin ”bosonimaisesti” — kentiltään yhtenäisesti. Tätä näkökantaa tukevat myös jäljempänä kohdassa 9B esitettävät  $He^+$  -ionin spektrirakenteet. Koska kyseessä on yhtenäinen kenttä tai magneettikenttä, niin sen sijaan että  $He^+$  -ionilla olisi yhteensä  $+30 \cdot q_0$  alkoryhmää yhtälön 9.18K mukaisesti, niin sillä onkin elektronikenttiin liittyneenä vain yksi  $+q_0$  ja kun tähän lisätään ytimen  $-2 \cdot q_0$ , niin kokonaisvaikutus massaahan on  $-q_0$ .  $He^+$  -ionin massalaskelmaksi tulee tällöin

$$He^+ \text{-ioni} = 4 \cdot p_0 + 44 \cdot e_0 - q_0 + e_0 / 8,59 \quad (9.19A)$$

$$= 6,694429452 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.19B)$$

Tämä on käytännön mittaustarkkuuksissa täsmälleen sama kuin spektrometrinen massatulos 9.18M ja nämä tulokset pätevät siis silloin, kun on määritelty massa  $p_0 =$  paino  $p_0$ .

Spektrometrisesti  $He^+$  -ionille on saatu tulos  $He^+ = 4,00205472 \cdot u$  (yhtälö 9.18H), kun sitä on kokeellisesti verrattu hiili-ioniin  $C^+ = 11,99945142 \cdot u$ . Jotta tämä kokeellinen tulos pätee, niin vaatimus on, että  $u$  on sama molemmissa tapauksissa riippumatta sen koosta. Vastaavalla tavalla kuin hiili-ionille yhtälössä 9.14R laskettiin todellinen ”atomimassayksikkö” perustuen määritelmään massa  $p_0 =$  paino  $p_0$  ja saatiin tulos

$$u_{c+} = 1,672748084 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.19C)$$

voidaan nyt laskea  $He^+$  -ionille ”atomimassayksikkö” yhtälöstä 9.19B

$$Y_{He+} = 6,694 \cdot 10^{-27} / 4,00205 = 1,672748106 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (9.19D)$$

Nämä tulokset 9.19C ja 9.19D ovat käytännössä täsmälleen samat, niin kuin tuleekin olla, jos sekä fysiikan kokeelliset tulokset että esitetyt kenttästruktuurit pätevät. Jokaisella atomilla on tietysti mielessä oma ”atomimassayksikkönsä” ja kun spektroskopiassa verrataan massasuhteita, niin atomimassayksikkö voidaan mielivaltaisesti kiinnittää mihin tahansa lukuun, minkä ei tarvitse liittyä edes mihinkään atomiin. Itse asiassa kaikkein huonoin tapa on liittää se johonkin atomiin,

olipa tämä atomi vety, helium, hiili tai kulta ja paras luonnollinen tapa ilmoittaa atomimassat on tehdä protonista  $p_0$  atomimassayksikkö. Atomipainot ovat sitten puolestaan aivan eri asia, mutta tässäkin suhteessa kiinnitys protoniin  $p_0$  olisi selvästi hyödyllinen, koska juuri ja vain protonilla paino  $p_0 = \text{massa } p_0$  ja koska vain protonin painovoimareaktioilla näyttää olevan vaikutusta painoon.

Edellä esitetyistä luvuista saadaan helium-atomin ja helium-ionin väliseksi massaeroksi laskettua

$$\text{He} - \text{He}^+ = 8 \cdot e_0 + 39 \cdot q_0 - e_0 / 8,59 \quad (9.19E)$$

$$= 8,008816 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad (9.19F)$$

$$= 0,88 \cdot e_{91} \quad (9.19G)$$

Kun fysiikka laskee helium-atomin massan lisäämällä helium-ioniin elektronin  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , niin siitä syntyy pieni virhe heliumin atomimassaan —  $1 / 60833,9861$  -osa, kun vastaava virhe hiiliatomilla on noin  $1 / 4\,000\,000$  -osa. Tämän jälkeen voidaan laskea helium-atomin todellisen protoniperusteisen massan = yhtälö 9.18D ja hiiliperusteisen atomipainon = yhtälö 9.18E välinen suhde

$$6,695230333 / 6,646483724 = 1,007334195 \quad (9.19H)$$

$$- 1 / 1,0073 = 1 - 1 / 137,3476118 \quad (9.19I)$$

$$= 1 - 1 / 137,022 + 1 / 57805,35945 \quad (9.19J)$$

$$= 1 - 1 / 137,022 + 1 / 60833 + 8,61 \cdot 10^{-7} \quad (9.19K)$$

Tämä tulos 9.19K on usealla tavalla merkittävä. Se osoittaa hiukkasfysiikan suurta tarkkuutta ja yhtälön 9.19G mukaisesti tarkalleen sitä, että heliumin ionisoitumisessa ei irtoa elektroni  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , vaan massaltaan elektroniryhmä  $0,88 \cdot e_{91}$ . Yhtälö 9.12K osoittaa edelleen sitä, että myös helium-ytimessä protonit muodostavat kaksoissidoksisen renkaan samankaltaisesti mutta ei samalla tavalla kuin hiiliytimessä, mutta käytännössä yhtä ”puhtaasti”. Tämä viimeksi mainittu asia tarkoittaa, että protoniperusteisessa massajärjestelmässä helium-atomilla

$$\text{massa} : \text{paino} = 1 : (1 - 1 / 137) \quad (9.20A)$$

Erikoisesti on vielä huomattava, että elektronikentät eivät atomeilla ole yleisesti suhteessa protonien määrään ja tällä suhteella ei näytä olevan yhteyttä varausten määrään — varauskäsitteet tulee ajatella uudella tavalla. Aivan väärin näyttää olevan, kun sanotaan, että atomeilla on  $n$  protonia  $p^+$  ja  $n$  elektronia  $e_{91}^-$ . Tämä käy hyvin ilmi yhtälöstä 9.14F ja Avogadron vakion olemassaolo osoittaa, että uloimmat vuorovaikuttavat elektronikentät ovat lähes vakioita atomin tai molekyylin painosta tai rakenteesta riippumatta — atomipainon kasvaessa elektronikenttien suhteellinen osuus pienenee. Edelleen voidaan todeta, että atomeilla eivät elektronit yleisesti ole massaltaan ja rakenteeltaan elektroneja  $e_{91} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , vaikka esimerkiksi vetymolekyylillä  $\text{H}_2$  tämän massaisia elektroniryhmiä on 2 kappaletta ja vaikka hiilellä  $\text{C}^{12}$  on yhtälön 9.14F mukaisesti yksi tämän massainen elektroniryhmä  $= (3 + 5) \cdot e_0 / 2 + (5 + 7) \cdot e_0 / 2$ . Kun elektronikenttien osuus alenee, niin yksinkertaisimmillaan tämä voi tarkoittaa, että vastaavasti atomin kondensoitumispisteiden  $p_i$  osuus kasvaa samalla massamäärällä. Tietyissä mielessä fysiikassa esitetty ajatus, että suurissa atomeissa sisimmät elektronit ulottuvat ytimeen, vastaa juuri tätä tilannetta, ja onhan ytimen kentän ensimmäinen kondensoitumispiste  $2 \cdot p_i / 2 = 2 \cdot 137 \cdot e_0 / 2$ , vrt. yhtälö 9.16A.

Tämä kaikki edellä esitetty osoittaa, että fysiikan atomipainot todellakin ovat atomipainoja eivätkä massoja lukuun ottamatta vetyatomia, jolla asia on päinvastoin. Tämän mukaisesti ovat esimerkiksi fysiikan massakatalaskelmat ja sidosenergialaskelmat väärin, mutta olisivat ne muutenkin olleet väärin, koska hiukkasfysiikassa pääsääntöisesti massat ja energiat ovat ylösalaisin — atomivoimaloiden laskelmat ovat luonnollisesti myös väärin, mikä ei ole mitenkään haitannut niiden turvallista toimintaa. Fysiikan kohdassa 10 on osoitettu, että atomivoimaloiden energia tulee pääosin niistä uraaniytimen kentän ensimmäisistä kondensoitumispaikoista  $2 \cdot 7 \cdot p_i$  ja  $2 \cdot 5 \cdot p_i$ , joita fissiotuotteilla ei ole (vrt. yhtälöt 10.3 ja 10.4). Fuusioenergiakalkulaatiot ovat vielä enemmän väärin reaktiossa  $4 \text{ H} \rightarrow \text{He}^4$ , sillä

$$4 \text{ H} = 4 \cdot p_{\text{ydin}} + 4 \cdot p_i + n_1 \cdot e_0 \quad (9.20\text{B})$$

$$\text{He}^4 = 4 \cdot p_{\text{ydin}} + (1+3) \cdot p_i + n_2 \cdot e_0 \quad (9.20\text{C})$$

mistä jokainen voi huomata, että yhtään jaetta  $p_i$  ei reaktiossa  $4 \text{ H} \rightarrow \text{He}^4$  vapaudu, mutta huomattavasti vähäisempi määrä palamistyyppistä energiaa kyllä voisi vapautua, jos tämä fuusio osattaisiin tehdä, sillä  $n_2 < n_1$ . Näin saattaa käydä juuri silloin, kun deuteriumia fuusioidaan heliumiksi. Samalla tavalla väärin on ymmärretty tähtien energiantuotto helium-fuusioista, jota on yksityiskohtaisesti selitetty tähtitieteen kohdassa 2. Huomattava osa hiukkasfysiikan suurista väärinymmärryksistä liittyy ylösalaisin oleviin massoihin ja energioihin sekä siihen, että atomipainoja on pidetty massoina, vaikka massan  $p_0$  paino atomiytimessä on mallinomaisesti  $(1 - 1/137) \cdot p_0$  silloin, kun protonit  $p_0$  muodostavat atomiytimessä puhtaan renkaan.