

M Ü H A Z I R Ə 6

“ELEKTRİK ATOMLARININ” KƏŞFİ

Elektronun kəşfi.

Elektromaqnetizmin inkişaf etməsinə baxmayaraq, o dövrdə elektrik cərəyanı axan zaman hərəkət edən substansiyanın (yəni cərəyanın yaranmasına səbəb olan hissəciklərin) fiziki təbiəti elm aləminə aydın deyildi. Bunun cavabı, yalnız Faradey tərəfindən 1833-cü ildə elektroliz qanunları kəşf edildikdən sonra, verildi.

Apardığı təcrübələr nəticəsində Faradey məhlulda molekulun dissosiasiyasını (yəni parçalanmasını) müşahidə edir və bu hadisəni izah etmək üçün (yəni parçalanma zamanı yaranan “yüklü” zərrəcikləri təsvir etmək üçün), o elmə “ion” (hərfi tərcümədə “səyyah”, “yolçu”, “qərib” mənasını verir) terminini gətirir. Faradey dissosiasiya hadisəsi zamanı aşağıdakı qanunauyğunluğu görür: birvalentli ionlardan ibarət müxtəlif maddələrin məhlullarından eyni miqdarda “Faradey ədədi” adlanan qədər (yəni $F=96485 \text{ Kl/mol}$) elektrik yükü buraxdıqda, elektrodlarda həmin maddənin ionlarının 1 qram-atomuna bərabər maddə ayrılır. İkivalentli ionlardan ibarət məhluldan cərəyan buraxdıqda - 2 qram-atom kütləli, üçvalentli ionlardan ibarət məhluldan cərəyan buraxdıqda isə 3 qram-atom kütləli maddə ayrıldığı müəyyən edilir. Digər tərəfdən, yəni Avoqadro qanunundan bilirik ki, ixtiyari maddənin 1 qram-atomunda Avoqadro ədədi N_A qədər zərrəcik olur. Deyilənlərdən o alınır ki, 1 qram-atomla daşınan bütün yüklər, bütün zərrəciklər arasında bərabər paylanır. Ona görə də, birvalentli ionla daşınan yük $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$, ikivalentli ionla daşınan yük $2e$, üçvalentli ionla daşınan yük $3e$ və s. olacaq. Bu deyilənlərdən o nəticə alınır ki, elektrik yükü diskret qiymətlərlə xarakterizə olunur.

1891-ci ildə Stoninin təklifi ilə elektrik yükü “elektron” adlandırıldı. O dövrdə elektron termini bizim təsəvvür etdiyimiz zərrəcik mənasında işlənmirdi; bu terminlə birvalentli ionun daşıya bildiyi elementar elektrik yük təsvir edilirdi. Elektronun zərrəcik olması, kütləyə və yükə malik olması isə daha sonralar, xüsusilə də Tomson tərəfindən aparılan təcrübələrdən aydın olur. Öz təcrübələrini şərh edən Tomson yazırdı: “Mən başa düşə bilmirəm, bu nə zərrəciklərdir: atomlardır, yoxsa molekul; bəlkə materiya daha incə bölgüyə malikdir?” Bu sualların cavabını tapmaq üçün o, 1897-ci ilin aprel ayının 30-da apardığı fundamental təcrübəsində bu zərrəciklərin mənfi yüklü olduğunu görür və onların kütləsini müəyyən edir ($m_e = 9,11 \cdot 10^{-28} \text{ q}$). Tomson tərəfindən bu mənfi zərrəciklərin “korpuskullar” adlandırılmasına baxmayaraq, böyük əksəriyyətin gəldiyi qənaətə görə mənfi zərrəciklər sonradan elektron adlandırıldı. Ona görə də bu təcrübənin aparıldığı tarix (30 aprel 1897-ci il) fizika tarixinə elektronun doğum günü kimi yazıldı.

Sizlərə onu da bildirmək istəyirəm ki, Tomsondan əvvəl alman fiziki Kaufman da Tomsonun aldığı nəticələri almışdır. Lakin o bu nəticələrə fəlsəfi yanaşaraq, o qədər də əhəmiyyət verməmişdi. Çünki o daha kiçik zərrəciklərin – submikron zərrəciyinin mövcud olma faktını heç cürə qəbul edə bilmirdi. Onun fikrincə təbiətdə mövcud olan ən kiçik zərrəcik atomdur və o bölünməzdir. Ona görə də bu kəşf tarixə Tomsonun adı ilə düşmüşdü.

Elektrodinamikanın inkişafı

Elektrodinamikanın inkişafı “enerjinin elektromaqnit sahəsi ilə ötürülməsi” teoremi ilə sıx bağlıdır. 1884-cü ildə bir-birindən xəbərsiz olan 2 ingilis fiziki - Poytinq və Xevisayd bu teoremi isbat etməklə, elektrodinamikanın inkişafına təkam vermişlər. Bildiyimiz kimi, bu teoremə əsasən, elektromaqnit sahəsinin enerji sıxlığının vektoru aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$\vec{S} = \frac{c}{4\pi} \llbracket \vec{E} \vec{H} \rrbracket.$$

1874-cü ildə rus fiziki Nikolay Alekseeviş Umov (1846-1915) tərəfindən də enerji sıxlığı vektoru üçün ifadə verilməsinə baxmayaraq, o bunu elektromaqnit sahəsinə tətbiq etməmişdi. Ona görə də bu vektor fizika tətixinə **Umov-Poytinq vektoru** adı ilə düşmüşdü.

Elektromaqnit hadisələrinin rəngarəngliyi və müxtəlifliyi “mikroskopik” elektrodinamikanın və bütöv mühitlər elektrodinamikasının (bəzi mənbələrdə buna bəkr mühitlər də deyirlər) inkişafına təkan verdi. Mikroskopik elektrodinamika, yəni klassik sahə nəzəriyyəsi – vakuum elektrodinamikası və nöqtəvi yüklərin elektrodinamikasıdır və burada geniş şəkildə mexanika metodlarından – variasiya prinsipindən, Laqranj metodundan, Hamilton metodundan istifadə olunur.

Makroskopik elektrodinamikada isə təcrübi nəticələr ilə tapılan fenomenal sabitlərdən – dielektrik nüfuzluğu ϵ - dan, maqnit nüfuzluğu μ - dan, elektrik keçirmə sabiti σ - dan istifadə olunur. Elektronun kəşfindən sonra məlum olur ki, elektronlar və elektronları kompensə edən “+” yüklər hər hansı bir formada maddənin quruluşunu təyin edir və bu quruluş elektrik cəhətcə neytral olur. Ona görə də, mühitin elektromaqnit xassələrini xarakterizə edən həmin fenomenal sabitlər də quruluşla bağlı olmalıdır. İlk dəfə bu sabitlərin maddənin quruluşuna əsasən hesablanması ideyası Lorens tərəfindən irəli sürülmüşdür. Lorensin klassik elektron nəzəriyyəsi aşağıdakı 5 cümlədən ibarətdir:

1. Maddə “+” və “-“ elektronlardan ibarətdir;
2. Elektronlar elektromaqnit sahəsi müəyyən edilən efirdə yerləşirlər. Bu sahə vakuum üçün Maksvel tənlikləri ilə (yəni Maksvel-Lorens tənlikləri ilə) verilir;
3. Elektronun yükü çox kiçik həcmdə p sıxlığı ilə paylanıb;
4. Elektronların hərəkəti elektromaqnit sahəsinin təsiri ilə baş verir. Bu qüvvənin həcmi sıxlığı Lorens qüvvəsi ilə tapılır;
5. Makroskopik elektromaqnit sahə mikroskopik sahənin zamana və fəzaya görə ortalanmış formasıdır.

Lorens özü tərəfindən yaradılmış klassik elektron nəzəriyyə ilə, demək olar ki, əksər elektrik və maqnit hadisələrini, xüsusilə də elektromaqnit dalğalarının dispersiyasını və udulma hadisələrini izah etmişdi.

Bərk mühitlər elektrodinamikasına Maksvel tənlikləri sistemini şamil etmək üçün onu tamamlamaq lazım idi. Bunun üçün ora “maddilik tənlikləri” əlavə olunmalı idi, yəni induksiya vektoru ilə (və ya cərəyan sıxlığı vektoru ilə) elektrik sahəsinin gücü arasında əlaqə yaradılmalı idi. Bunun üçün xüsusi çevrilmələr olan tenzorlardan - fəza-zaman dispersiyasını və s. effektləri təsvir edən kompleks dielektrik nüfuzluğu tenzorundan istifadə edilmişdir. Tenzorun konkret görünüşü maddi mühitin elektromaqnit

xassələrindən asılı olaraq, müxtəlif olur. Dispers tənliklərin əsasını təşkil edən bu tenzorların köməyi ilə müxtəlif mühitlərdə, xüsusilə də plazmada məxsusi dalğalar (modlar), və həmçinin, qeyri-tarazlığın ilkin mərhələsinin inkişafı nəzərdən keçirilir (öyrənilir). Qeyri-xətti elektrodinamikada isə qeyri-xətti (çoxindeksli) dielektrik nüfuzluğu tenzorundan istifadə olunur.

XIX əsrin sonu XX əsrin əvvəllərində hərəkət edən mühitlərdə elektromaqnit proseslərinin təsvir olunması zərurəti yarandı. Bu zaman qarşıya çıxan çətinliklər Eynşteynin nisbilik nəzəriyyəsinin yaranmasına səbəb oldu (1905). Bu da öz növbəsində maddilik tənliklərinin dəyişməsinə zəruri etdi. Bunun haqqında daha ətraflı məlumat “Optikanın tarixi” mövzusunda veriləcək.

Maksvel elektrodinamikası fizikanın yeni sahələrinin – kvant elektrodinamikası, sahənin kvant nəzəriyyəsi, fiziki elektronika, plazma elektronikasi, maqnit hidrodinamikası, radiofizika, statistik radiofizika və s. kimi sahələrin inkişafına təkan verdi. Elektrodinamikanın qeyd etdiyimiz əksər bölmələri – istiqamətləri optik hadisələr və optik proseslərlə sıx bağlıdır. “Optikanın tarixi” mövzusunda keçid etməmişdən öncə, Dirak monopolu haqqında da məlumat vermək istərdim.

“Dirak monopolu” nədir?

Qədim mütəfəkkirlər belə hesab edirdilər ki, təbiətdə hər bir şey “gözəllik”, yəni simmetriya prinsipi üzərində qurulub. Lakin Maksvel tənliklərinə nəzər salsaq, ilk növbədə onlarda asimmetrik gözülməyə dəyir, yəni bilirik ki, elektrik sahəsinin mənbəyi elektrik yükləri hesab olunur, bəs onda maqnit sahəsinin mənbəyi nədir? Bundan başqa, Maksvel tənliklərindən belə təsəvvür yaranır ki, elektrik maqnetizmdən ayrı mövcud ola bilər, ancaq maqnetizm isə yox. Buradan alınır ki, Maksvel tənlikləri bizlərdə maqnetizmin elektrikdən asılı olması təsəvvürünü formalaşdırır. Öz dövründə bunu Amper də söyləmişdi: “belə çıxır ki, elektrik sahəsi yüklərdən asılıdır, maqnit sahəsi isə bu yüklərin hərəkəti nəticəsində yaranan, elektrik sahəsindən”.

Bu haqsızlığı düzəltməyə, “Təbiətdə mövcud olan harmoniyanı” bərqərar etməyə ilk cəhd göstərən alim Xeyvisayd olmuşdur. 1891-ci ildə o, Maksvelin ümumiləşmiş tənliklərini tam simmetrik formada yazır. Lakin onun bu işlərinə fikir verilmədi, və ya o dövrdə bu cür yanaşmanı qəbul edə bilmirdilər. Bunu demək çox çətindir. Lakin 1931-ci ildə kvant nəzəriyyəsinin təməlini qoyanlardan biri olan ingilis fizik-nəzəriyyəçi alim Pol Dirak da maqnit zərrəciklərinin axtarılması ilə məşğul olmağa başlayır. O görür ki, kvant nəzəriyyəsində elektrik sahəsi maqnit sahəsindən “üstün” hesab olunmur. Ona görə də Dirak, maqnit zərrəciklərini “maqnit monopolları” adlandırır. 1931-ci ildə “Elektromaqnit sahəsində kvant sinqulyarlığı” əsərində o, məlum təcrübəni şərh edərək deyir: “elektrik yükləri elementar yüklərə - elektrona həmişə tam bölünür. Təbiətdə elə bir hadisə mövcud deyil ki, orada elektron yükünün kəsir hissəsi özünü biruzə versin....Əgər maqnit yükü μ ilə elektrik yükü e arasında

$$\mu e = n \hbar c / 2 \text{ (Dirakın kvantlanma şərti)}$$

kimi bərabərliyin olması nəzərə alınsa, onda biz Maksvel tənliklərinə heç bir zərər vermədən maqnit monopollu daxil edə bilərik. Bərabərlikdə n – tam ədədlər, c – işığın vakuumda sürəti, \hbar - Plank sabitidir.

Bu bərabərlik elektrik yükünün kvantlanması faktını çox gözəl izah edir. Məqalənin sonunda Dirak yazır: "Təbiətin belə bir imkandan istifadə etməməsi, məndə təəccüb doğurur."

Əgər monopollar həqiqətən mövcuddursa, onda onlar qeyri-adi xassələrə malik olmalıdırlar. İlk növbədə, elektrik yükündə olduğu kimi, maqnit yükünün də saxlanması qanunu gözlənilməlidir. Bundan başqa, elementar maqnit yükü $137/2$ dəfə elektronun yükündən çox olmalıdır. Ona görə də monopollar arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi, aralarındakı məsafə eyni olan elektronlar arasındakı qarşılıqlı təsirdən 4692 dəfə çox olmalıdır. Bu hesablamalardan Dirak aşağıdakı nəticəyə gəlir: "Mənə indi aydın olur ki, nə üçün əks işarəli qütblər bir-birindən ayrılmamışdır? Əlbəttə ki, məhz belə güclü qarşılıqlı təsir (yəni cazibə) qüvvəsi əks işarəli qütblərin bir-birindən ayrılmasının qarşısını almışdır". Monopolların varlığı sübut olunsa, onda elektrik və maqnit hadisələri arasında da simmetriya mövcud olar. Belə ki, maqnit sahəsi elektrik yüklərinin hərəkəti nəticəsində yarandığı kimi, maqnit monopollarının hərəkəti nəticəsində də elektrik sahəsi yaranmalıdır.

Maqnit monopolu ideyasını Dirak "+ elektronun – pozitronun" mövcud olması ideyası ilə birgə söyləmişdir. Hər iki ideya o dövrdə fantastik ideya kimi qəbul edilmişdir. Lakin 1932-ci ildə pozitron kəşf edildikdən sonra, Dirakın monopol ideyası da fizikləri maraqlandırmış və onları yeni zərrəciklərin axtarılması istiqamətində təcrübələrin aparılmasına sövq etmişdir.

Lakin indiyə kimi, müasir fizikanın bütün imkanlarından istifadə edilməsinə baxmayaraq, monopolların varlığı kəşf edilməmişdir.

XX əsrin 70-80 illərində aparılan təcrübələrdən o qənaətə gəlmək olur ki, əgər monopollar həqiqətən varsa, onda onlar zülal molekulu kütləsi ilə müqayisədə, daha böyük kütləyə malik olmalıdırlar. Belə kütləli zərrəciklərin yaranması isə böyük enerji sərfi ilə bağlıdır ki, bunu müasir gücləndiricilər vasitəsilə həyata keçirmək mümkün deyil. Lakin alimlərdə belə bir fikir formalaşmışdır ki, monopollar kainatın ilkin yaranma mərhələsində yaranmışlar və onların bizim dövrlərə qədər çatma ehtimalı da çoxdur. Ona görə də atalar sözündə deyildiyi kimi "ümid sonda ölür" və monopolların mövcudluq faktı hələ də öz aktuallığını itirməyib.

Təbii olaraq, sizlər belə bir sual verə bilərsiniz: "Bu qədər vaxt və pul sərfi hansısa bir ekzotik monopolun axtarışına çəkilməsi nə dərəcədə doğrudur? Axı Maksvel tənlikləri müasir fizikanın əsasını təşkil edir və orada edilən ixtiyari bir dəyişikliklər bir çox dəyişikliklərə səbəb olmaqla yanaşı, bizim dünya haqqında formalaşmış dünyagörüşlərimizin də dəyişməsinə gətirəcək. Monopolların kəşfi praktik nöqtəyindən nəzərdən xeyirlidir və bununla enerji problemini həll etmiş olarıq. Belə ki, böyük yükə malik monopolu maqnit sahəsində sürətləndirmək, elektrikin yüklü zərrəciklərini sürətləndirməkdən daha effektivdir. Yəqin ki, təbiətdə monopollarla bağlı bizim bilmədiyimiz çoxlu sayda hadisələr və proseslər mövcuddur və bunların kəşfi biz fiziklərin öhdəsinə düşür.

OPTİKANIN TARİXİ

Yunanca tərcümədə "optika" "gözlə qavrama haqqında elm" mənasını verir. Bildiyimiz kimi, fizikanın o bölməsi optika adlanır ki, orada işığın xassələri, fiziki təbiəti,

onun yayılması və digər cisimlərlə qarşılıqlı təsiri öyrənilsin. Burada qeyd edilən “ışıq” anlayışı, yalnız gündəlik istifadə etdiyimiz görünən işığa şamil edilmir. Işıq dedikdə, həm də elektromaqnit şüalanmasının geniş spektr oblastı – rentgen şüalarından tutmuş mikrodalğa diapazonuna kimi bütün dalğalar başa düşülür. Müasir baxımdan isə, optika elektrodinamikanın əsas hissələrindən biri kimi qəbul edilir. Optika özü 3 hissədən – həndəsi, fiziki və fizioloji optikadan ibarətdir.

Qədim mütəfəkkirlərə görmənin qanunauyğunluqları və işıq şüalarının əksər xassələri məlum idi. Belə ki, dahi **Platon** tərəfindən görmənin ilk nəzəriyyəsi verilmiş, Aristotel sınma qanunlarını izah etməyə cəht göstərmiş, qədim yunan filosofu **Evklid** tərəfindən isə həndəsi optikanın əsası qoyulmuşdur. Fizioloji optikanın banisi isə ərəb mütəfəkkiri **Heysəm** (Alxazen) hesab olunur. Heysəm qədim Roma həkimi Qalenin tədqiqatlarına əsaslanaraq, ilk dəfə olaraq gözün quruluşunu vermişdi. Təcrübələr nəticəsində o sübut etmişdir ki, Platon və Evklidin işıq haqqında mövcud təsəvvürləri yanlışdır.

XIII əsrdə ingilis filosofu **Rojer Bekon** sferik güzgünün fokus məsafəsini ölçmüş və sferik aberrasiyanı kəşf etmişdir. O, ilk dəfə olaraq linzalardan istifadənin mümkünlüyünü qeyd etmiş və bunun nəticəsi olaraq göz eynəkləri yaranmışdı.

XVI əsrdə holland ustaları tərəfindən ilk görmə borusu – mikroskop yığılmışdı. Onlardan təqribən yarım əsr sonra, yəni 1610-1614-cü illərdə **Qaliley** də mikroskop yaradır. Optik qurğuların yaradılması isə optikanın inkişafına təkan verir.

Holland alimi **Snelius** tərəfindən ~ 17-ci əsrin 20-ci illərində təcrübə vasitəsilə ən vacib kəşflərdən biri – işığın sınma qanunu kəşf olunur. Çap olunmayan elmi işlərində Snelius onu da göstərir ki, düşmə bucağının kosekansları ilə sınma bucağı arasındakı münasibət həmişə sabit qalır. 1637-ci ildə **Rene Dekart** özünün “Dioptrika” əsərində bu kəşflərin həm nəzəri izahını verir, həm də bu qanunların dürüslüyünü nəzəri cəhətcə ibat edir.

Boloniyalı professor **Françesko Qrimaldinin** 1665-ci ildə, yəni ölümündən sonra çap olunan “İşıq, rənglər və göy qurşağı haqqında fiziki-kimyəvi traktat” əsərində o yeni bir hadisə - işığın difraksiyası haqqında məlumat verir və göstərir ki, işıq həmişə düz xətt boyunca yayılır.

İşığın korpuskulyar və dalğa hipotezləri

İngilis alimləri **Boyl** 1663-cü ildə, **Quk** isə 1665-ci ildə tarixə Nyuton halqaları adı ilə düşmüş qeyri-adi hadisəni müşahidə edirlər. Bu hadisəni, müstəvi şüşə lövhə üzərinə zəif yığıcı linza qoyduqda daha aydın şəkildə görmək olar. Bunu izah etmək üçün Quk, işığın köndələn dalğalardan ibarət olması ideyasından istifadə edir. Onun bu uzaqgörən fikirləri elm adamları arasında birmənalı qəbul olunmur. O dövrdə bu ideyanın qəbul olunmaması həm də 1672-ci ildə Nyutonun “İşıq və rənglərin yeni nəzəriyyəsi” əsərinin çap edilməsi ilə bağlı idi. Bu əsərində Nyuton işığın korpuskulyar təbiətli olduğunu ön plana çəkir və bunu təcrübələr vasitəsilə sübut edir.

Optika ilə Nyuton 1672-1686-ci illərdə məşğul olmuş və öz nəticələrini 1704-cü ildə çap olunmuş “Optika” kitabında şərh etmişdir. Bu kitabın rolunu yüksək qiymətləndirən Sergey İvanoviç Vavilov qeyd edir ki, Nyuton “ilk dəfə olaraq dünyaya əyani şəkildə təcrübə fizikanın necə olacağını göstərdi. O, təcrübəni danışmağa vadar etmiş, verilən suallara düzgün cavab almışdır.”

Nyutonun müasiri olan holland fiziki **Xristian Hüygens** 1690-cı ildə işığın digər nəzəriyyəsini irəli sürür. O hesab edir ki, həyəcanlanmış işıq efir adlanan mühitdə yayıla bilən, maddi mühiti asanlıqla dolduran elastik impulslardan – sferik formalı bir-birinə çox sıx yerləşmiş zərrəciklərdən ibarətdir; bu zərrəciklərdən birinin yerdəyişməsi digər zərrəcikləri də hərəkətə gətirir və nəticədə bütün istiqamətlər boyunca sferik köndələn dalğalar yayılır. Lakin onun söylədiyi dalğalar bizim başa düşdüyümüz dalğalar mənasını daşımırdı. Hüygens özü buna belə aydınlıq gətirir: “ışıq sferik səthlərlə yayılır və mən bu səthləri ona görə dalğalar adlandırırım ki, bu sferik səthlər suya daş atılan zaman yaranan ləpələrə - dalğalara çox bənzəyir.”

1669-cu ildə danimarkalı fizik və riyaziyyatçı **Erazm Bartolin** (1625-1698) ikiqat şüasinma hadisəsini kəşf edir. O görür ki, kristal üzərinə düşən işıq 2 şüaya parçalanır və bunlardan biri özünü qərribə aparır, yəni qərribə şüanın sınma bucağı düşmə bucağından asılı olaraq, müxtəlif qiymətlər alır. Digər şüada isə bu göstərici sabit qaldığı üçün, Bartolin onu asanlıqla təyin edə bilir. O gündən etibarən özünü “normal aparən şüa” adı şüa, “qərribə aparən şüa” isə qeyri-adi şüa adlandırılır. Bartolin təcrübələrində daha bir qərribəliklə rastlaşır; kristalda yalnız bir istiqamət var ki, bu istiqamət üzrə yayılan şüa 2-yə bölünür. Həmin istiqaməti sonra kristalın optik oxu adlandırmaq qəbul olunur.

18-ci ildə Nyutonun nüfuzu çox olduğu üçün işığın korpuskulyar nəzəriyyəsinə etiraz edənlər az idi. Ona görə işığın korpuskulyar hipotezi uzun zaman öz hökmranlığını saxlaya bilər.

Lakin 1746-cı ildə **Eyler** “İşığın və rənglərin yeni nəzəriyyəsi” kitabını çap etdirərək, elm aləminə işığın Nyuton nəzəriyyəsində mövcud olan çatışmamazlıqları göstərir. Bununla da Nyutonun korpuskulyar nəzəriyyəsinə ilk zərbə vurulur. Eyler də Hüygens kimi işığın köndələn rəqslərdən ibarət olduğunu söyləsə də, Hüygensdən fərqli olaraq, o işığın periodik xarakterə malik dalğa təbiətinə malik olmasını xüsusilə vurğulayır. Bunun nəticəsi olaraq, Eyler tərəfindən müstəvi dalğa üçün məlum tənlik yazılır.

İşığın dalğa nəzəriyyəsinin qalibiyyəti

XIX əsrin əvvəllərində işığın dalğa təbiəti haqqında fikirlər yavaş-yavaş korpuskulyar nəzəriyyəni arxa plana çəkirdi. Bu işdə Yunqun və Frenelin nailiyyətlərini xüsusi qeyd etmək lazımdır.

Dalğa nəzəriyyəsinə üstünlük verən cavan ingilis həkimi **Yunq** 1800-ci ildə korpuskulyar nəzəriyyənin çatışmamazlıqlarını qeyd edərək yazmışdı: “Bütün işıq şüaları, hansı yolla, hansı mənbədən yaranmasından asılı olmayaraq necə olur ki, həmişə eyni sürətlə hərəkət edirlər? Korpuskulyar nəzəriyyə necə izah edə bilər ki, müxtəlif mənbələr eyni sürətli zərrəciklər buraxır?”

1801-1803-cü illərdə öz təsəvvürləri əsasında Yunq nazik səthlərin rənglərini, Nyuton halqalarını, difraksiya hadisəsini aydın şəkildə şərh edir. Beləliklə o, oprikaya aid bütün dərsliklərə düşmüş işığın interferensiya hadisəsini – məlum “Yunq təcrübəsini” (1802) həyata keçirir. 1803-cü ildə Yunq müxtəlif rənglərin dalğa uzunluğunu da ölçür. Lakin, hələ də Nyuton nəzəriyyəsinin hökm sürdüyü dövrdə, onun nəticələri ilə heç kim maraqlanmır.

1808-ci ildə fransız fiziki **Etyen Malyus** (1775-1812) görür ki, island şpatı pəncərədən düşən işığın təsiri altında fırlanan zaman işığın interferensiyası periodik

(dövri) olaraq ya artır, ya da azalır. Şəffaf mühitlərdən (şüşədən, sudan və s.) əks olunan işığın təsiri altında baş verən bu hadisəni, Malyus işığın polyarlaşması adlandırır. O, həmçinin polyarlaşmış işığın intensivliyinin dəyişmə qanununu da – Malyus qanununu kəşf edir.

Daha sonra fransız fiziki **Dominik Araço** tərəfindən polyarlaşmış işıq müstəvisinin fırlanması müşahidə olunur (1811). 1815-ci ildə şotland fiziki **Devid Brister** (1781-1868) göstərir ki, tam polyarlaşmada əyilmə bucağının tangensi (Brüster bucağı) maddənin sındırma göstəricisinə bərabərdir (Brüster qanunu).

Dalğa nəzəriyyəsinin tam qələbəsi, fransız mühəndisi **Oqüsten Jan Frenel** (1788-1827) tərəfindən edilən kəşflə mümkün oldu. Yunq təcrübələrindən xəbərsiz olan Frenel, 1815-ci ildə interferensiya hadisəsini yenidən kəşf edir; 1816-cı ildə Huygensin prinsipinə əlavələr edir, yəni elementar dalğaların koherentliyi və interferensiyası təsəvvürlərini daxil edir (Huygens-Frenel prinsipi). Bu prinsiplərdən istifadə edən Frenel 1818-ci ildə işığın difraksiyası nəzəriyyəsinə verir. O, həmçinin təcrübə vasitəsilə işıq dalğalarının köndələn olduğunu sübut edir. 1823-cü ildə Frenel 2 tərpənməz müstəvi mühit sərhəddində işığın sınma və əks olma qanunlarının riyazi tənliyini verir (Frenel tənlikləri), işığın elliptik və dairəvi polyarlaşmasını kəşf edir.

Bu kəşflərdən sonra dalğa optikasının inkişafına start verildi və işığın korpuskulyar nəzəriyyəsi XX əsrdə kvantların kəşfinə qədər ikinci plana keçdi.

İşığın korpuskulyar-dalğa dualizmi

XIX əsrdə işığın korpuskulyar və dalğa nəzəriyyələri bir-birini inkar edən nəzəriyyələr hesab olunurdu və heç bir alim işığın hər 2 halda ola bilməsini qəbul edə bilmirdi. Ona görə də işığın dalğa nəzəriyyəsinin qalibiyyəti Nytonun korpuskulyar nəzəriyyəsinin məhvi demək idi. Bütün bunlara baxmayaraq, bir çox hadisələr, xüsusilə də fotoelektrik effekti klassik mexanika çərçivəsində izah edilə bilmirdi.

Bu effekt 1887-ci ildə təsadüfən **Henri Hers** tərəfindən müşahidə olunmuş, lakin işığın dalğa təbiətli yox, məhz korpuskulyar təbiətli olması izah edilən bu kəşf onu maraqlandırmamışdır. Fotoeffekt adı ilə tarixə düşmüş bu effekt, yenidən 1888-ci ildə alman fiziki **Vilhelm Qalvaks**, italyan fiziki **Avqusto Riçi** və rus fiziki **Aleksandr Qriqoryeviç Stoletov** tərəfindən kəşf edilir. Qalvaks göstərir ki, metallik səth ultrabənövşəyi işıqla şüalandırıldıqca “+” yüklənir; Riçi bu effekti dielektriklərdə müşahidə edir və elmə “fotoelement” terminini gətirir; İlk fotoelementi isə Stoletov yaradaraq, praktikaya tətbiq edir. Stoletov tərəfindən həmçinin, fotoeffekt qanunlarından biri – fotocərəyan qüvvəsinin düşən işığın intensivliyi ilə düz mütənasib olması kəşf edilir. 1899-cu ildə **C. Tomson** və alman fiziki **Filip Lenard** işıqlanan səthdən uçan zərrəciklərin xüsusi yükünü təyin edərək, bu zərrəciklərin elektron olduğunu qəbul edirlər. 1902-ci ildə Lenard müəyyən edir ki, uçan elektronların enerjisi düşən işığın intensivliyindən asılı olmayıb, onun tezliyi ilə düz mütənasibdir. Bu kəşf də klassik nəzəriyyə ilə izah olunmurdu. Fotoeffekt hadisəsinin dərk edilməsi və bu qanunların düzgün izahının verilməsi, yalnız kvant enerjisinin və Plank sabitinin kəşfindən sonra mümkün oldu.

1900-cü ilin dekabr ayının 14-də qara cismin istilik şüalandırması qanunlarını izah etmək üçün, **Maks Plank** “şüalanma enerjisi porsiyalarla – enerji elementi ilə yayılır” hipotezini irəli sürür və enerji elementinin $\epsilon = h\nu$ ilə hesablanacağını söyləyir (h – Plank

sabiti, v isə şüalanma tezliyidir). Klassik ruhda formalaşmış Plank, bu hadisənin də izahının yalnız korpuskulyar nəzəriyyə ilə mümkün olduğunu çox yaxşı dərk etməsinə baxmayaraq, o da işığın dalğa nəzəriyyəindən imtina etmək istəmədiyi üçün, burada udulma və buraxılma proseslərinin diskret porsiyalarla baş verdiyini, şüalanmanın özünün isə kəsilməz olduğu ideyasını irəli sürür. Plankın əksinə olaraq, **Albert Eynşteyn** Plank tərəfindən irəli sürülən kvant ideyasının inqilabi xarakterini hamədan tez başa düşərək, bu ideyanı daha genişləndirir. O, 1905-ci ildə “enerji elementinin” qeyri-adi, özünəməxsus xassələrə malik olduğunu göstərir və bu elementləri işıq kvantları adlandırır. Bununla da fizikaya yeni hipotetik element – “ışıq kvantı” anlayışı daxil edilir. Eynşteyn işıq kvantları ilə fotoeffekt hadisəsini izah edir və bu hadisə üçün enerji balansını tənzimləyir:

$$E_{\text{mak}} = h\nu - W$$

Burada E_{mak} – uçan elektronların maksimal enerjisi, W isə çıxış işidir, yəni elektronun maddədən çıxması üçün lazım olan enerjidir.

Eynşteyn hipotezinə qarşı çıxan ilk alim elə Plank özü olur. Bu hipotezi danimarkalı alim Nils Bor da qəbul edə bilmir. Fotoeffekt üçün verilmiş Eynşteyn tənzimləyicinin ilk təcrübə doğruluğu 1914-16-cı illərdə **Robert Milliken** tərəfindən sübut olunur. O, yazırdı: “Eynşteyn tənzimləyicinin bizim işıq haqqında təsəvvürlərimizi, xüsusilə də interferensiyaları alt-üst etməsinə baxmayaraq, mən öz həyatımın 10 ilini Eynşteyn tənzimləyicinin sübutuna həsr etdim və 1915-ci ildə bu tənzimləyi birmənalı olaraq qəbul etdim”. Bu bir daha sübut edir ki, o dövrdə əksər fiziklər Eynşteyn hipotezini “xəstə təfəkkürün təzahürü” kimi qəbul edirdilər. Milliken və digər fiziklərin təcrübələrinə baxmayaraq, bu hipotez fiziklər tərəfindən inkar olunurdu. Hətta işıq kvantının varlığı belə qəbul olunmayaraq, onun elektromagnit sahəsi enerjisinin kəmiyyət baxımından izah edilməsi üçün irəli sürülən ölçü meyarı olduğu hesab edilirdi.

1921-24-cü illərdə yerinə yetirilən təcrübələrdə cisim tərəfindən əks olunan rentgen şüalarında “yumşaq” şüaların, yəni daha uzun dalğalı şüalanmanın (qeyri-koherent dalğaların) yaranması müşahidə olunur. Amerikalı fizik **Artur Kompton** (1892-1962) bu təcrübənin Eynşteyn hipotezi əsasında izahını verir. O, yüngül atomlardan, yəni qrafit və parafindən ibarət mühitlər tərəfindən sərt roentgen şüalanmasını tədqiq edərək görür ki, səpilmə bucağından asılı olaraq səpilmə şüası 2 komponentdən ibarət olur; bu zaman bu komponentlərin birinin dalğa uzunluğu düşən dalğa uzunluğuna bərabər olduğu halda, digərininki böyük olur. Bu hadisə sonar Kompton effekti adlandırılır. Kompton və Debay bu effekti roentgen kvantı ilə sərbəst elektronların toqquşması kimi izah edirlər. Kompton isə, elektron-foton sistemində enerjinin və impulsun saxlanması qanunlarından istifadə edərək, “səpilmə şüasının dalğa uzunluğunun düşən şüanın dalğa uzunluğundan fərqi hesablayır:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2\theta/2$$

Burada istifadə olunan λ_c sabiti yeni fundamental fiziki sabit olub, kompton uzunluğu adlanır:

$$\lambda_c = h/m_0c = 2,4 \cdot 10^{-10} \text{ sm.}$$

Beləliklə, Kompton təcrübə yolu işıq kvantlarının varlığını sübut etmiş olur.

İşıq kvantları haqqında Eynşteyn hipotezinin doğruluğu rus fizikləri A.F.İoffe və N.İ.Dobronrarov tərəfindən isə 1924-cü ildə sübut edilir. 1926-cı ildə amerikalı kimyaçı-

fizik Hilbert Luis (1875-1946) işıq kvantını foton adlandırır və bu termin fiziklər tərəfindən birmənalı qəbul edilir.

Nəzəri hesablamalar və təcrübi tədqiqatlar nəticəsində 1925-ci ildə dəqiq aydın olur ki, bəzi fiziki hadisələrdə işıq özünü müəyyən enerjiyə və impulsa malik zərrəcik kimi aparır. Digər tərəfdən, XIX əsrdə interferensiya, difraksiya və işığın polyarlaşmasını göstərən tədqiqatlar işığın dalğa xassəli olmasını sübut edir. Bu hadisələr işığın korpuskulyar-dalğa dualizmi probleminə gətirir ki, bunun da izahı ancaq müasir kvant nəzəriyyəsi ilə verilir.

İmtahan sualları

1. Elektronun kəşfi
2. Elektrodinamikanın inkişafı
3. Elektrodinamikanın inkişafında Poyntinq və Xevissaydın, Nikolay Alekseeviş Umovun nailiyyətləri
4. Lorensin klassik elektron nəzəriyyəsi
5. “Dirak monopolu” nədir?
6. Optikanın tarixi
7. İşığın korpuskulyar və dalğa hipotezləri
8. Xristian Hüygensin işıq haqqında təsəvvürləri
9. Erazm Bartolinin işığa aid kəşfləri
10. Eylerin dalğa nəzəriyyəsinin inkişafında rolu
11. İşığın dalğa nəzəriyyəsinin qalibiyyəti
12. İşığın dalğa nəzəriyyəsinin inkişafında Yunqun, Etyen Malyusun, Dominik Araqonun, Devid Bristerin və Oqüsten Jan Frenelin nailiyyətləri
13. İşığın korpuskulyar-dalğa dualizmi