

FİZİKA ÜZRƏ FƏLSƏFƏ DOKTORU RZAYEVA SEVDA

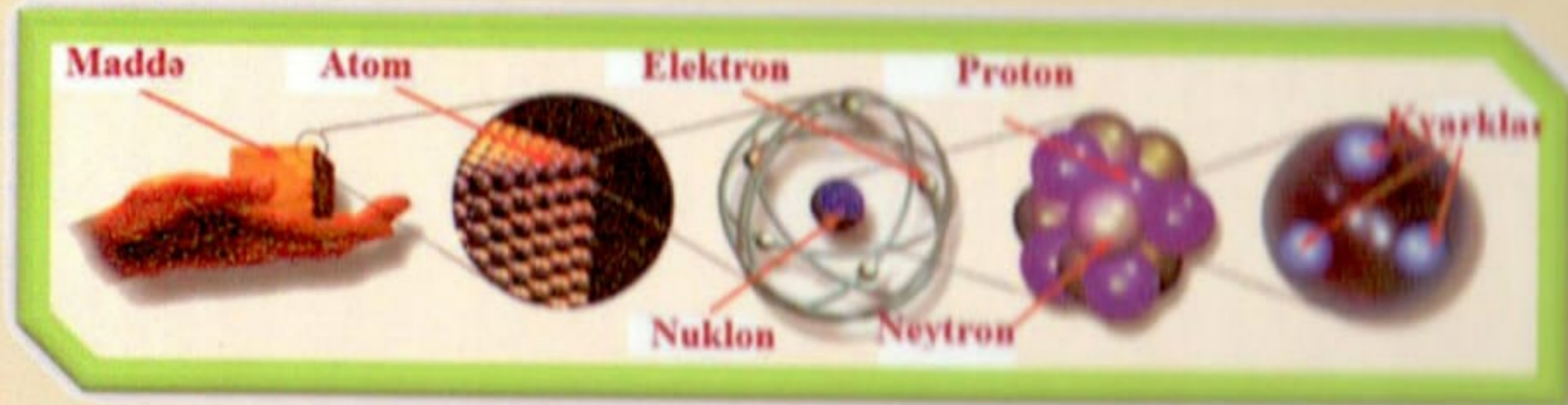


2005-ci ildə Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini fərqlənmə diplomu ilə bitirmişdir. 2005-ci ildən etibarən AMEA-nın Fizika İnstitutunda elmi işçi, 2012-ci ildən isə baş elmi işçi vəzifəsində çalışır. 2012-ci ildə fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almışdır. Avropa Nüvə Tədqiqatları Mərkəzi (CERN, İsveçrə) və Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutu (JINR, Dubna, Rusiya) ilə beynəlxalq əlaqələrə malikdir.

2008-ci ildə AMEA və Azərbaycan Milli Elm Fondu tərəfindən Akademik Həsən Abdullayev adına diploma layiq görülmüş, 2012-ci ildə isə "Gənc alimlərin ikinci Respublika İnnovativ Yarmarkası çərçivəsində təşkil olunmuş Elmi İnnovativ İdeyalar Müsabiqəsi" konfransında diplomla, 2016-cı ildə Thomson Reuters və Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Yanında Elmin İnkişafı Fondu tərəfindən Dünyada ən çox istinad olunan elmi işlərə görə mükafatla təltif olunmuşdur.

Dubna (Rusiya) (2008), Adana (Türkiyə) (2009), Triest (İtaliya) (2012), Vuppertal (Almaniya) (2014), İslamabad (Pakistan) (2014), Sürix (İsveçrə) (2014), İnzburq (Avstriya) və s. keçirilən konfrans və məktəblərdə çıxış etmişdir.

Hazırda Sumqayıt Dövlət Universitetində və Bakı Dövlət Universitetində "Kvant mexanikası", "Nüvə", "Atom fizikası", "Yüksək enerjilər fizikası", "Elementar zərrəciklər fizikası" və "Nüvə fizikasının nəzəriyyəsi" fənlərindən mühazirələr oxuyur.

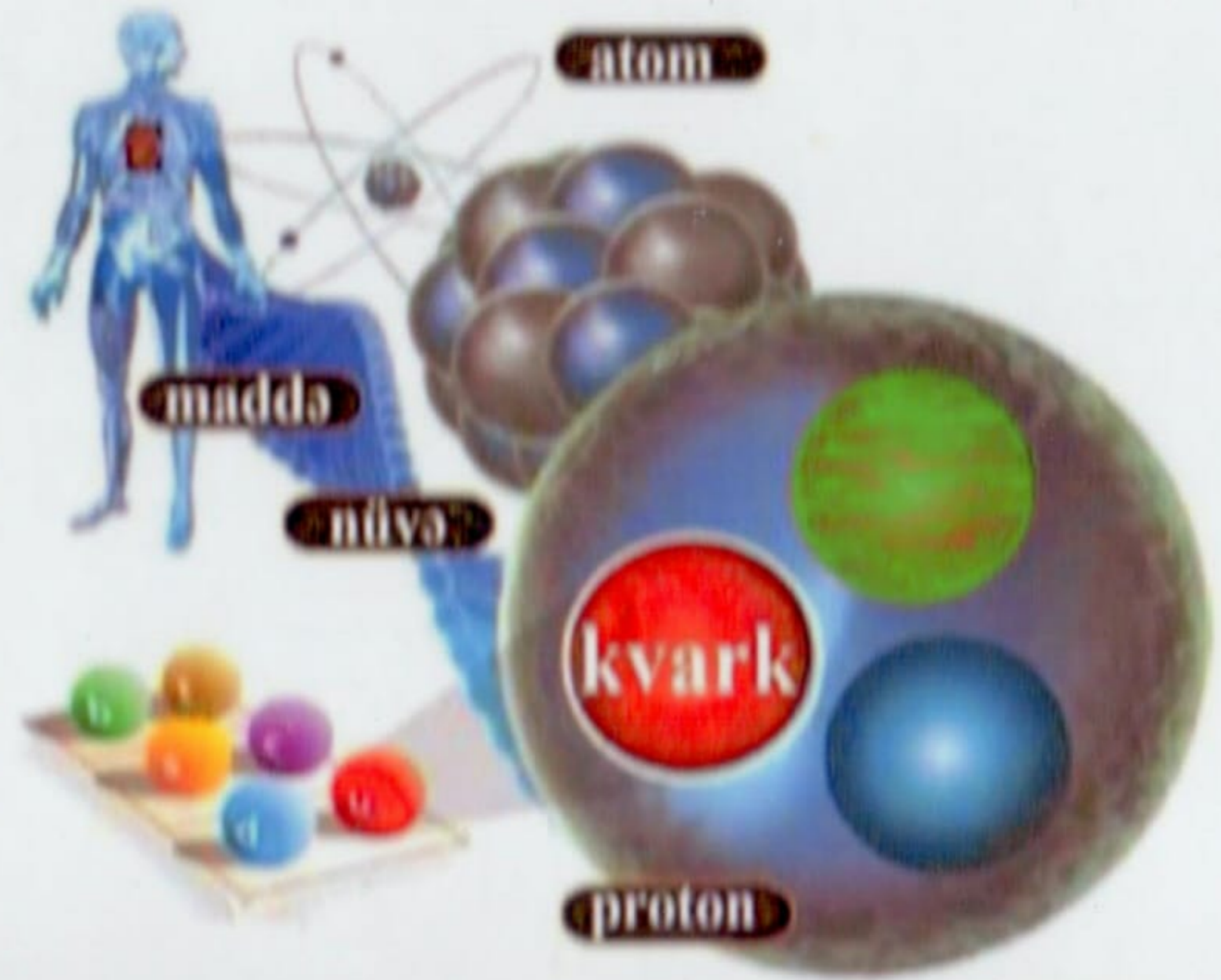


S.S.Rzaeva

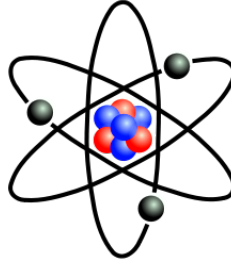
ATOM FİZİKASI

S. S. RZAYEVA

ATOM FİZİKASI



SEVDA RZAYEVA



ATOM FİZİKASI

Universitet tələbələri üçün dərs vəsaiti

SDU-nun 31. 05. 2017-ci il
tarixli Elmi Şurasının qərarı
ilə (protokol №08) nəşr olunur.

Bakı -2017

Elmi redaktor: **Sərhəddin Abdullayev** BDU-nun “Nəzəri fizika” kafedrasının professoru, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru

Rəy verənlər: **Eldar Məsimov** BDU-nun “Maddə quruluşu” kafedrasının professoru, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru

Məhəmmədəli Zərbəliyev SDU-nun “Yarımkəçiriricilər fizikası” kafedrasının professoru, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru

Mais Süleymanov COMSATS İnformasiya Texnologiyası İnstitutunun (Pakistan İslam Respublikası, İslamabad) professoru, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru

Korrektor: **Mehman Əhmədov** BDU-nun Fizika fakültəsinin magistrı.

Sevda Rzayeva. **ATOM FİZİKASI, “Ləman Nəşriyyat Poliqrafiya” MMC, Bakı, 2017, 216 səh.**

Dərs vəsaiti respublika universitetlərinin fizika fakültələrinin tələbələri üçün “Atom fizikası” fənni üzrə təklif olunmuş proqrama əsasən yazılmışdır. Dərslərdə atom fizikasının inkişafı tarixi xronoloji ardıcılıqla şərh edilmiş, işığın və mikrohissəciklərin dalğa və kvant təbiətləri haqqında ətraflı məlumat verilmiş, atom fizikasının müxtəlif bölmələrini əhatə edən doqquz laboratoriya işinin yığcam nəzəri əsasları, işlərin həm virtual (multimediya), həm də real (əyani cihazlar) laboratoriyalar vasitəsilə yerinə yetirilməsi şərh olunmuşdur.

R 1604090000-071
2017

© Rzayeva Sevda, 2017

Zəiflər hər zaman ədalət və bərabərlik istəyərlər.
Güclülər isə bunların heç birinə fikir verməzlər.

Aristotel

MÜNDƏRİCAT

Ön söz	6
I FƏSİL Elektron, onun yükü və kütləsi	
1.1. Elektronun kəşfi.....	9
1.2. Katod şüa borusu	12
1.3. Elektronun kütləsi və yükünün tapılması	15
<i>Laboratoriya işi № 1</i> Maqnit fokuslama üsulu ilə elektronun xüsusi yükünün təyini.....	18
Mövzuya aid testlər.....	30
Yoxlama sualları.....	33
<i>Laboratoriya işi № 2</i> Milliken təcrübəsi. Yağ damcısı vasitəsilə elektrik yükünün ölçülməsi.....	35
Mövzuya aid testlər.....	52
Yoxlama sualları.....	55
II FƏSİL İstilik şüalanması və onun qanunları	

2.1	Qara cism şüalanması	56
2.2	Cisimlərin şüalanma və şüaudma qabiliyyəti	58
2.3	Stefan-Bolsman qanunu.....	60
2.4	Kvant enerjisinin dalğa uzunluğuna görə dəyişməsi.....	62
2.5	Reley-Cins qanunu	64
2.6	Plank düsturu.....	68
	<i>Laboratoriya işi № 3</i> Stefan-Bolsman sabitinin təyini	70
	<i>Laboratoriya işi № 4</i> Plank düsturunun yoxlanılması	82
	Mövzuya aid testlər.....	88
	Yoxlama sualları.....	93
III FƏSİL İşığın kvant təbiəti		
3.1	Fotoeffekt	94
3.2	Fotoeffekt üçün Eynşteyn tənliyi.....	101
	<i>Laboratoriya işi № 5</i> Fotoeffektin təcrübi yoxlanılması	106
	Mövzuya aid testlər.....	112
	Yoxlama sualları.....	115
	<i>Laboratoriya işi № 6</i> Fotoeffektə əsasən Plank sabitinin təyini	116
	Mövzuya aid testlər.....	124
	Yoxlama sualları.....	127

IV FƏSİL Spektral seriyalar və hidrogen atomunun enerji səviyyələri

4.1	Atomun spektrləri.....	128
4.2	Hidrogen atomunun spektrinin təcrübi qanunauyğunluqları.....	133
4.3	Bor postulatları.....	139
4.4	Dairəvi orbitlərin kvantlanması.....	143
	<i>Laboratoriya işi № 7. Hidrogen atomunun spektrinin təcrübədə öyrənilməsi</i>	148
	<i>Laboratoriya işi № 8 Ridberq sabitinin və elektronun kütləsinin təyini</i>	157
	Mövzuya aid testlər.....	161
	Yoxlama sualları.....	168
	<i>Laboratoriya işi № 9 Frank və Hers təcrübələri</i>	169
	Mövzuya aid testlər.....	185
	Yoxlama sualları.....	189
	Əlavələr	190
	<i>İstifadə olunmuş ədəbiyyat</i>	214

ÖN SÖZ

Atom fizikası müasir təbiət elmlərinin böyük sürətlə inkişaf edən qabaqcıl sahələrindən biridir. Atom fizikasından elmin bütün sahələrində geniş istifadə olunur. O, təbiətdə, kənd təsərrüfatında, kimya sənayesində, biologiya, arxeologiya və digər sahələrdə böyük nailiyyətlər əldə etməsində böyük rol oynayır.

Tədris etmək üçün bu vaxta qədər çoxlu sayda dərs vəsaitləri çap olunmuşdur. Onların bəziləri atom fizikasının inkişafı nəticəsində meydana çıxan bir sıra yenilikləri nəzərə almaqla dəfələrlə yenidən nəşr edilmişdir. Lakin, təqdim edilən “Atom fizikasından audiovizual laboratoriya işləri” adlı dərslik Azərbaycanda ilk audiovizual kitab olduğuna görə ənənəvi dərsliklərdən əsaslı şəkildə fərqlənir.

Qeyd edək ki, Atom fizikasının proqramı üzrə hazırlanan bu dərslikdə müəllif tələbələrə Atom fizikasının tədrisinin həm nəzəriyyəsini, həm də praktiki işlərinin mövzularını daha dərinləndirərək edilməsinə imkan verən video görüntülü materiallardan (multimediyadan) geniş istifadə etmişdir. Beləliklə, müəllif burada geniş oxucu auditoriyasını nəzərə alaraq kitabda aşağıdakı bəndləri əsas götürmüşdür:

- I.** Atom fizikası fənninin proqramı üzrə hər bir mövzunun nəzəri izahı verilmişdir.
- II.** Laboratoriya işlərinə uyğun virtual və real təcrübə qurğularının işləmə prinsipi və təcrübələrin gedişinin təsvirinə aid materiallara geniş yer ayrılmışdır.

III. Həm nəzəri hissələrin, həm də laboratoriya işlərinin mövzularını daha dərindən, praktiki əsaslarla, yəni görüntülər vasitəsilə asanlıqla dərk edilməsinə imkan verən video materiallardan (multimediyadan) geniş istifadə edilmişdir.

IV. Mövzular üzrə testlər və açıq suallar tərtib edilmişdir.

Bu kitabda müəyyən hadisələrin şərh zamanı nəzəri hissələrə geniş yer verilmiş, bəzi hallarda, mətnin ağırlaşmasına səbəb olsa da, düsturların çıxarılışı, müəyyən fiziki proseslərin riyazi hesablamalarının verilməsinin metodiki baxımdan vacib olduğu nəzərə alınmışdır. Kitabda, hər bir mövzunun video görüntülərlə verilməsi, təcrübələrin gedişinin təsvir edilməsi, sərbəst şəkildə virtual və real laboratoriya işlərinin aparılması və s. kimi məsələlər əsas yer tutmuşdur.

Bu dərslikdə doqquz laboratoriya işinin yığcam nəzəri əsasları, işlərin həm virtual (multimedia), həm də real (əyani cihazlar) laboratoriyalar vasitəsilə yerinə yetirilməsi və hesablama metodikası təsvir edilmişdir. Atom fizikası laboratoriya işlərinin spesifik xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq, dərslik dörd fəsilə bölünmüşdür.

Birinci fəsil elektronun kəşfinə, elektronun kütləsinin və yükünün tapılmasına, xüsusi yükünün nəzəri və praktiki öyrənilməsinə və yükün diskretliyinin isbatına həsr olunmuşdur.

İkinci fəsildə atom fizikası və kvant mexanikasının formalaşmasında zərrəcik-dalğa dualizminin böyük rolunu nəzərə alaraq onu aşkara çıxaran, həm də təsdiq edən qara cisim şüalanması, qara cisimdən yayılan enerjinin dalğa uzunluğuna görə dəyişməsi və s. kimi hadisələr geniş şərh edilmişdir. Bu səbəbdən fəsil istilik şüalanması və onun tətbiqinə həsr olunmuşdur. Burada Stefan-Bolsman sabitinin təcrübədə tapılması, Plank düsturunun doğruluğunun yoxlanılması xüsusi yer tutur.

Üçüncü fəsil fotoeffekt və Plank sabitinin təyininə həsr olunmuşdur.

Dördüncü fəsildə hidrogen və hidrogenəbənzər atomların spektral qanunauyğunluqları qısa olaraq nəzəri izah olunur, əsas üç laboratoriya işinin yerinə yetirilməsi nəzərdə tutulur:

1. Hidrogen atomunun spektrinin təcrübədə öyrənilməsi. Balmer seriyasının tədqiqi.
2. Ridberq sabitinin və elektronun kütləsinin təyini.
3. Frank və Hers təcrübələri.

Müəllif ümid edir ki, bu dərslikdən istifadə etməklə tələbələr müasir fizikanın əsasları, onun nailiyyətləri və problemləri ilə yaxından tanış olacaqlar.

Bu virtual laboratoriya vasitəsilə müasir fizikanın qanunauyğunluqlarını daha müvəffəqiyyətlə mənimsəməkdə və gələcəkdə qarşılaşacaqları fiziki proseslərin araşdırılmasında yüksək səviyyədə onlara yardımçı olacaqdır.

Müəllif kitabın hazırlanması prosesində hərtərəfli şərait yaratdığına görə Sumqayıt Dövlət Universitetinin “Fizika və Elektroenergetika” fakültəsinin dekanı Tamella Əhməd qızı Əhmədova, kitabın ərəşəyə gəlməsində və virtual hissələrinin səsəlməsində xüsusi rolu olmuş magistr Mehman Əhməd oğlu Əhmədova öz dərin minnətdarlığını bildirir.

Audiovizual formada hazırlanmış bu dərslik, şübhəsiz ki, ilk təşəbbüs olduğu üçün, qüsursuz deyildir. Kitabın oxunmasında aşkar ediləcək nöqsanlara görə müəllif oxuculara əvvəlcədən öz dərin minnətdarlığını bildirir və oxuculardan kitab haqqında irad, arzu və təkliflərini aşağıda göstərilən elektron ünvana göndərmələrini xahiş edir:

nurelmar@gmail.com

*Dövləti zəif edən əsas amil pulun azlığı yox,
istedadların azlığıdır.*

F.Volter

I FƏSİL

ELEKTRON, ONUN YÜKÜ VƏ KÜTLƏSİ



Mənbə: atomun quruluşu

<https://sdu.edu.az/az/physics>

[https://www.youtube.com/channel/](https://www.youtube.com/channel/UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw)

[UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw](https://www.youtube.com/channel/UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw)

§1.1. ELEKTRONUN KƏŞFİ

Atom haqqında irəli sürülən ilk təsəvvürlərə bizim eradan 1000 il əvvəl Misir, Hindistan və başqa Şərq filosoflarının əsərlərində rast gəlinir. Eradan əvvəl VI–V əsrlərdə yaşamış yunan filosofları Levkip, Demokrit və Epikur tərəfindən atom haqqında mülahizələr qəbul edilmiş və inkişaf etdirilmişdir.

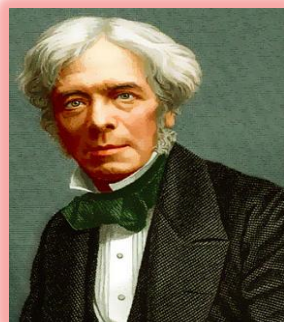
Atom haqqında təlimin inkişafında ingilis alimi Con Daltonun (1766-1844) aşağıdakı fikirləri xüsusi rol oynamışdır:

- Bütün maddələr atomlardan ibarətdir;
- Müxtəlif elementlərin atomları fərqli kütlələrə malikdir;
- Atom qatı, sərt, içi dolu olan kürə şəklindədir;
- Hər bir elementin bütün atomları eynidir;
- Atomlar parçalanmır.

XIX əsrin sonlarına doğru atomun daha kiçik zərrəciklərdən təşkil olunduğu düşünülməyə başlanmışdır və atomun quruluşu haqqındakı düşüncələrdə zamanla dəyişikliklər olmuşdur. Bu düşüncələrdəki dəyişikliklərin səbəbi elektroliz hadisəsi zamanı təcrübələrdən alınan nəticələr idi. Elektroliz hadisəsi üçün Faradeyin

müəyyən etdiyi məlum qanunlar elektrik yükünün diskret olması haqqındakı təsəvvürlərin ilk təcrübi əsası olmuşdur.

Təbiətdə elementar elektrik yükünün mövcudluğu və elektrik yükünün diskret (latınca “diskretus” – “fəsiləli, ayrı-ayrı hissələrdən ibarət” deməkdir) quruluşa malik olması bir nəticə kimi Faradeyin elektroliz qanunlarından çıxdı. Bu nəticəni ilk dəfə 1881-ci ildə Alman fiziki Helmholtz M.Faradeyin xatirəsinə həsr olunmuş nitqində söyləmişdir.



Faradeyin I qanununa görə, elektroliz zamanı elektrodada ayrılan maddənin kütləsi m , elektrolit-dən keçən yükün miqdarı q ilə düz mütənasibdir:

M.Faradey(1791-1867)

$$m=kq. \quad (1.1)$$

Burada k əmsalı elektrolitin təbiətindən asılıdır və maddənin elektrokimyəvi ekvivalenti adlanır.

Faradeyin II qanunu maddənin elektrokimyəvi ekvivalentinin, onun kimyəvi ekvivalenti (M/z) ilə mütənasib olduğunu ifadə edir:

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{z} \quad (1.2)$$

Burada M – ayrılan maddənin molyar (atomar) kütləsi, z – onun kimyəvi valentliyi, F – universal (elektrolitin təbiətindən asılı olmayan) sabiti isə Faradey sabitidir. (1.1) və (1.2) ifadələrindən birləşmiş elektroliz qanununu alırıq:

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{z} q \quad (1.3)$$

Faradey elektroliz qanunlarını eksperimental üsulla müəyyən etmişdir, lakin onları maddənin elektron nəzəriyyəsinin köməyi ilə asanlıqla çıxarmaq olar. (1.3) düsturuna görə, Faradey sabiti F , ədədi qiymətə elə miqdarda elektrik yükünə bərabərdir ki, həmin yükü birvalentli ion məhlullarından keçirsək, elektrod üzərində 1 mol maddə ayrılır. Elektrolitlərdə cərəyan ionların hərəkətilə əlaqədar olduğundan, yuxarıdakı faktı belə ifadə etmək olar: istənilən birvalentli ionların 1 molu, bu ionların təbiətindən asılı olmayaraq eyni miqdarda elektrik yükü daşıyır. Bu yük ədədi qiymətə Faradey sabitinə bərabərdir.

Faradey sabitinin təcrübi qiyməti $F=9,65 \times 10^4 \frac{\text{Kl}}{\text{mol}}$ –dur.

1 molda olan ionların sayı N_A Avoqadro ədədinə bərabər olduğundan, istənilən birvalentli ionun daşdığı yükün (elektronun yükü-nün) modulu

$$e = \frac{F}{N_A} \quad (1.4)$$

olacaqdır. Bu e yükü ionun daşıya biləcəyi minimum (ən kiçik) elektrik yüküdür və birvalentli ionun yükünə bərabərdir. Elektrodada z -valentli maddənin 1 molunu ayırmaq üçün elektrolitdən zF qədər yük keçməli olduğundan, z -valentli ionun daşdığı yükün modulu

$$ze = \frac{zF}{N_A} \quad (1.5)$$

olur. Yəni, çoxvalentli ionların yükü birvalentli ionun yükündən tam ədəd dəfə çoxdur.

Yuxarıda deyilənlərdən görünür ki, müxtəlif ionlar e , $2e$, $3e$ və s. yükləri daşıyır, $1,5e$, $2,5e$ yükləri daşıyan ionlara isə təsadüf edilmir. Elektrik yükü diskret qiymətlər alır. Başqa sözlə, Faradeyin şərafinə söylədiyi nitqində Helmholtsun dediyi kimi, “əgər biz elementlərin atomlarının varlığını qəbul ediriksə, onda biz bundan çıxan nəticədən də yaxamızı qurtara bilmərik, yəni

həm mənfi, həm də müsbət elektrik yükləri də özlərini elektrik yükünün atomları kimi aparan müəyyən elementar yüklərdən ibarətdir”.

Faradey qanunlarından elektrik yükünün diskret qiymətlər alması kimi təcrübi faktın meydana çıxması elektrik hadisələri haqqında təlimin inkişaf etməsində böyük rol oynamışdır. Lakin elektroliz qanunlarından çıxan nəticələri elementar yükün mövcudluğunun tam sübutu hesab etmək olmazdı, çünki bu təcrübələrlə çoxlu sayda ionların yüklərinin orta qiyməti ölçülürdü. Belə ki, bu nəticə minimum yük daşıyan zərrəciklərin mövcud olması fikrinin ortaya çıxmasına səbəb oldu.

§1.2. KATOD ŞÜA BORUSU

Faradeyin işlərinə əsaslanaraq, İrlandiya fiziki G.J.Stoni (1826-1911) atomlarda elektrik yüklü hissəciklərin olduğunu söyləmiş və 1891-ci ildə bunlara “elektron” adının verilməsini təklif etmişdir. Stoni göstərmişdir ki, mənfi yüklü bu hissəciklər hər maddədə fərqli miqdarda olur. Maddənin neytral olması üçün, atomda, bu mənfi yüklərə bərabər sayda müsbət yüklərin mövcudluğu lazımdır.

Qazların elektrik keçirməsi, elektroliz, hadisəsinin öyrənilməsi atomun mürəkkəbliyini sübut etdi.

Elektronların varlığına dair ilk dəlil 1870-ci illərdə İngilis fiziki U.Kruks tərəfindən verildi. Kruks vakuum balonunun içərisində qazların elektrikle qarşılıqlı təsiri nəticəsində ortaya çıxan davranışlarını araşdırdı. Təcrübə nəticəsində məlum oldu ki, qaz boşalması balonunda təzyiqin müəyyən qiymətində (təqribən 10^{-3} mm civə sütunu) balon qaralır, bu zaman qaz artıq işıqlanmır, lakin katodun qarşısındakı şüşə divar sarımtıl-yaşıl rəngdə işıqlanmağa başlayır. Əgər bu halda katodun qarşısına müəyyən formada metal ekran yerləşdirilsə və elektrodlar yüksək gərginlik

mənbəyinə birləşdirilsə, balonun katod qarşısındakı divarında həmin formada metalın kölgəsi alınar və divarın qalan hissəsində sarımtıl-yaşıl rəngdə parlaq işıqlanma əmələ gəlir. Elektrodların qütblərini dəyişdikdə kölgə yox olur. Təsvir olunan təcrübə göstərir ki, katodun səthi işıq şüaları kimi düz xətt boyunca yayılan xüsusi növ şüalar buraxır.

Kruks balonları olaraq tanınan bu balonlar indiki zamanda ***katod şüa borusu*** adlanır.



Şəkil 1.1. Kruks balonları

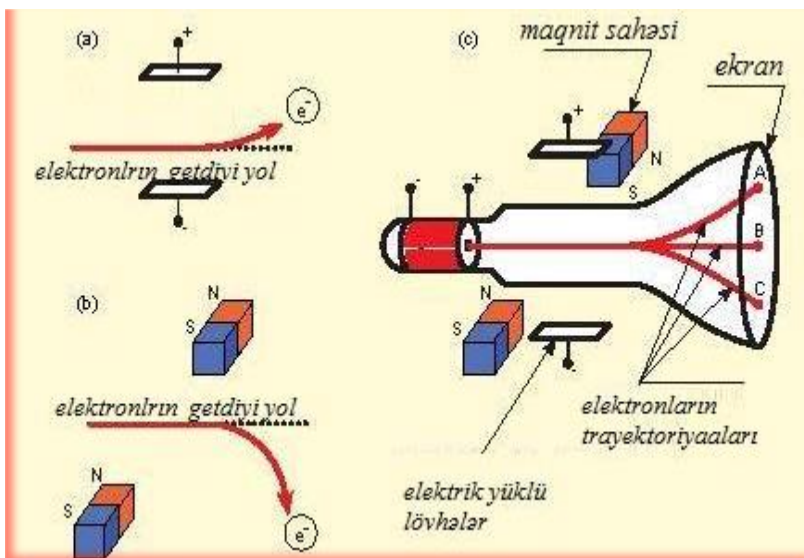
Əvvəllər belə hesab edirdilər ki, bu şüalanma öz təbiətinə görə işıq şüalanmalarının təbiəti ilə eynidir, ona görə də onu katod şüaları adlandırmışlar.

Katod şüalarını bir nöqtəyə toplamaq üçün şəkil 1.1-dən göründüyü kimi, balona sferik çökük səth forması verilir.

Şüaların bir nöqtədə toplanan hissəsinə nazik metal lövhə yerləşdirilsə, katod şüaları həmin lövhəyə dəyərək onu ağ rəng alınana qədər közərdə bilər. Burdan belə nəticəyə gəlmək olar ki, katod şüaları enerjiyə malikdir.

Fransız alimi J.Perren (1870-1942) katod şüalarının təbiətini müəyyən etmək üçün onların yoluna içi boş metal silindri qoymaqla təcrübəni aparmışdır. Katod şüaları içi boş silindri düşürdülər. Perren bu silindri elektrometrə birləşdirmişdir. Əgər katod şüaları özləri ilə elektrik yükü daşıyarsa, bu halda onlar

silindrə düşərək ona öz elektrik yükünü verəcək və elektrometr bunu dərhal aşkara çıxardacaqdır. Təcrübə zamanı məlum olmuşdur ki, elektrometr mənfi yüklə yüklənib. Lakin katod şüalarının hansı işarəli yük daşdığını dəqiq müəyyən etmək üçün əlavə tədqiqat aparmaq tələb olunurdu.



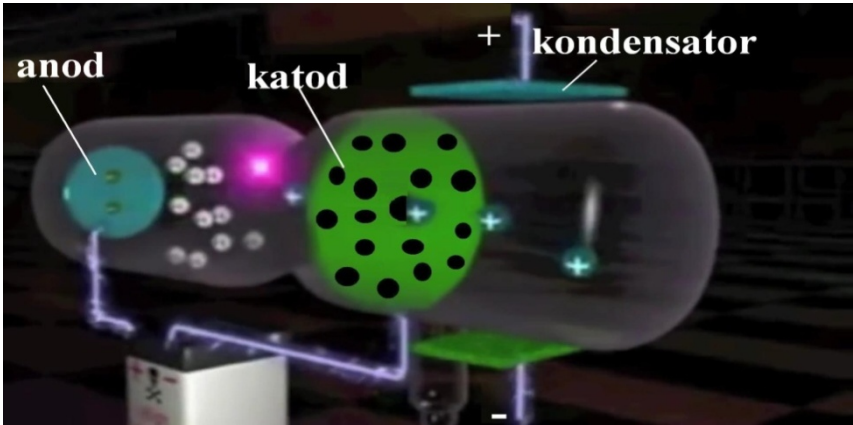
Şəkil 1.2. Elektronların: a) elektrik sahəsində, b) maqnit sahəsində, c) elektrik və maqnit sahələrində hərəkəti zamanı malik olduqları trayektoriyalar

1897-ci ildə Britaniya fiziki Con Tomson Kruksun təcrübələrini elektrik və maqnit sahələrində təkrarladı.

Ş1.3. ELEKTRONUN KÜTLƏSİ VƏ YÜKÜNÜN TAPILMASI

1858-ci ildə Alman alimi J.Plyukker, katod borusunun yaxınlığına maqnit yerləşdirərək katod şüalarının maqnit sahəsində meyl etməsini ilk dəfə müşahidə etmişdir. Bu təcrübə ilə Plyukker, maqnitdən istifadə edərək katoddan müəyyən məsafədə müşahidə olunan paralel parlaq yaşıl işıq ləkələrinin yerini dəyişməyi bacarmışdır. Lakin balonun havası kifayət qədər boşalmadığı üçün sınağı tam müvəffəqiyyətlə yerinə yetirə bilməmişdir.

C.Tomson təcrübələr vasitəsilə sübut etmişdir ki, katod şüaları qaz boşalması balonunda olan çox seyrəkləşmiş qazın müsbət ionlarının metal katoda zərbələri nəticəsində, bu katoddan çıxan elektronlar selindən ibarətdir.



Şəkil 1.3. Katod şüa borusu

Şəkil 1.3-də qaz boşalması balonunun və yaxud katod şüa borusunun sxemi təsvir edilib: o, içindən qaz tamamilə çıxarılmış

balondan, katoddan, müstəvi şəkilli katodun üzərində yaradılan dəliklərdən və müsbət yüklənmiş anoddan ibarətdir. Anod və katod lövhələri arasında yerləşdirilmiş qaz molekulları ionlaşdırılır və bu ionlaşma nəticəsində müsbət ionların bir qismi metal katod lövhəsindəki yarıqlardan keçir, qalan hissəsi isə metal katoda zərbələr endirərək oradan mənfi yüklü zərrəciklər çıxarır. Dəliklərdən keçən müsbət yüklü ionlar kondensatorun lövhələri arasına düşür, bu zaman zərrəciklərin mənfi yüklü lövhəyə doğru meyli olduğu müşahidə edilir.

Katoddan çıxan mənfi yüklü zərrəciklər isə müsbət yüklənmiş anoda doğru hərəkət edir.

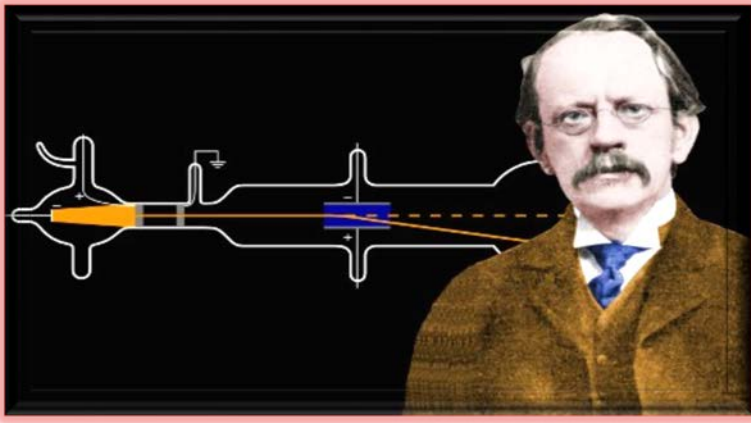
Bu təcrübə göstərdi ki, katod şüalarındakı zərrəciklərin hamısının yükü eyni olub, mənfi yüklü zərrəciklər selindən ibarətdir. Bundan başqa, müəyyən edildi ki, hər bir zərrəciyin kütləsi hidrogen atomunun kütləsindən təqribən 2000 dəfə kiçikdir. Bu zərrəcikləri C.Tomson "elektron" adlandırdı. Yeri gəlmişkən, qeyd etmək lazımdır ki, elektroliz zamanı birvalentli ionun yükünü işarə etmək üçün hələ 1891-ci ildə J.Stoni "elektron" anlayışından istifadə edilməsi təklifini irəli sürmüşdür. Lakin elektron anlayışı 1897-ci ildə C.Tomsonun "Fəlsəfə jurnalı"nda çap olunmuş "Katod şüaları" adlı məqaləsindən sonra fizika elminə daxil olmuşdur.

Beləliklə, elektronun kəşfi tarixi 1897-ci il, elektronu kəşf edən alim isə C.Tomson hesab edilir. C.Tomson təcrübələr vasitəsilə sübut etdi ki, katod şüaları qaz boşalması borusunda olan çox seyrəkləşmiş qazın müsbət ionlarının metal katoda zərbələri nəticəsində bu katoddan çıxan elektronlar selindən ibarətdir.

Hal-hazırda bir çox dəqiq ölçmələr nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, elektronun yükü $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$, kütləsi isə $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kq}$ -dir.

Məlum olduğu kimi, yüklü hissəciyin elektrik və maqnit sahələrində meyli onun yükünün kütləsinə olan nisbətindən (q/m) asılıdır. Bu nisbəti çox zaman zərrəciyin **xüsusi yükü** də adlandı-

rırlar. Ona görə də yüklü zərrəciyin elektrik və ya maqnit sahəsində meylini bilərək onun xüsusi yükünü, yəni q/m nisbətini tapmaq mümkündür.



C. Tomson (1856-1940)

Zərrəciyin sürətinin məlum olub-olmamasından asılı olaraq, q/m nisbətini təyin etmək üçün müxtəlif cür üsullardan istifadə olunur. Əgər zərrəciyin başlanğıc sürəti məlumdursa və ya təcrübədə müəyyən qayda ilə təyin oluna bilərsə, onda yalnız bir sahədə – ya maqnit, ya da elektrik sahəsində meyli ölçməklə kifayətlənmək mümkündür. Əgər zərrəciyin başlanğıc sürəti məlum deyilsə, onda zərrəciyin q/m xüsusi yükünü təyin etmək üçün onun həm elektrik, həm də maqnit sahəsində meylini ölçmək tələb olunur, çünki iki məchulu təyin etmək üçün ən azı iki tənlik lazımdır.

Elektronun xüsusi yükünü (q/m) təyin etmək üçün bir-neçə üsul mövcuddur. Biz, bunların yalnız biri ilə tanış olacağıq. Bu üsul maqnit sahəsində fokuslama üsuludur.

Laboratoriya işi 1.

MAQNİT FOKUSLAMA ÜSULU İLƏ ELEKTRONUN XÜSUSİ YÜKÜNÜN TƏYİNİ

İşin məqsədi: Elektron dəstəsini uzununa maqnit sahəsində fokuslama üsulu ilə elektronun xüsusi yükünü təyin etmək.

Cihaz və ləvazimatlar: Elektron şüa borusu, solenoid, universal gərginlik mənbəyi, ampermetr, voltmetr, reostat.



Mənbə: elektronun xüsusi yükünün təyini

<https://sdu.edu.az/az/physics> https://www.youtube.com/channel/UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw

Qısa nəzəri məlumat:

(q/m) -i təyin etmək üçün istifadə olunan üsul uzununa maqnit sahəsinin tətbiqinə əsaslanmışdır. Sabit $\vec{\vartheta}$ sürətilə hərəkət edən və hərəkət istiqamətinə perpendikulyar \vec{B} induksiya, bir-cinsli maqnit sahəsində elektronun hərəkətini öyrənək.

Maqnit sahəsinin təsiri nəticəsində elektronlar borunun mərkəzinə doğru spiralvari hərəkət edir. Bu halda elektrona maqnit sahəsi tərəfindən

$$\vec{F}_L = e\vec{\vartheta} \times \vec{B} \quad (1.6)$$

Lorens qüvvəsi təsir edir. Burada e – elektronun yükü və $\vec{\vartheta}$ onun sürətidir. Qüvvə həmişə elektronun hərəkət istiqamətinə perpendikulyardır, heç bir iş görmür və kinetik enerjisini dəyiş-

dirmir. Bu təcrübədə yüklü zərrəciyin sabit bir cins eninə maqnit sahəsində hərəkətini araşdırdığımızdan (1.6) tənliyində elektrik sahəsi nəzərə alınmır ($E = 0$). \vec{v}_x sürəti ilə hərəkət edən elektrona təsir edən Lorens qüvvəsi

$$F_L = e\vartheta_x B \quad (1.7)$$

olur. \vec{F}_L qüvvəsi elektronun sürətinin mütləq qiymətini dəyişdirə bilmir, ancaq istiqamətini dəyişdirir və elektron çevrə üzrə hərəkət edir.

$$\frac{m\vartheta_x^2}{r} = e\vartheta_x B, \quad (1.8)$$

buradan

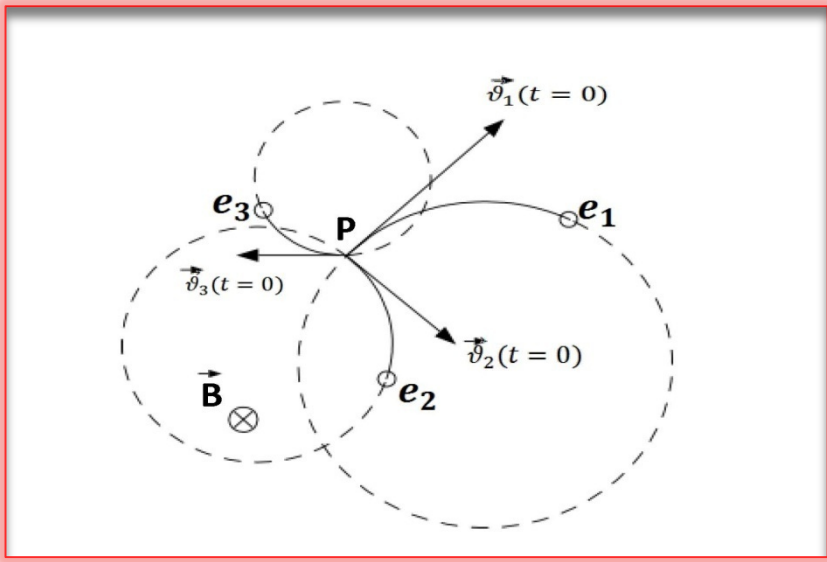
$$r = \frac{\vartheta_x}{(e/m)B}. \quad (1.9)$$

Yükün çevrə üzrə tam bir dövrü üçün tələb olunan zaman T

$$T = \frac{2\pi \times r}{\vartheta_x} = \frac{2\pi}{(e/m)B} \quad (1.10)$$

olar.

Buradan açıq-aşkar görünür ki, period elektronun ϑ_x sürətindən və r radiusundan asılı deyildir. Bunu göstərmək üçün, maqnit sahəsinə perpendikulyar olan bir müstəvidə üç elektronu təsvir edə bilərik (bax *şəkil 1.4*). Elektronlar $t=0$ zaman anında P nöqtəsindən başlayaraq, müxtəlif sürətlərlə müxtəlif istiqamətlərə hərəkət edir. (1.9) tənliyindən görüldüyü kimi, elektronlar müxtəlif radiuslu trayektoriyalara malik çevrələr cızır və (1.10) tənliyindən görünür ki, onların hamısı çevrəni tam dövr etməsi üçün eyni T zamanına ehtiyac vardır. Beləliklə, onlar eyni $t=T$ zaman anında yenidən P nöqtəsində qarşılaşırlar.



Şəkil 1.4. Elektronların eyni P nöqtəsindən başlayaraq, müxtəlif istiqamətlərdə və sürətlərdə çevrə üzrə cızdıqları trayektoriyalar. \vec{B} –şəkil müstəvisinə perpendikulyardır.

Beləliklə, əgər elektron bircins sahə istiqamətində hər-hansı φ bucağı altında \vec{v} sürətilə hərəkət edirsə, onda \vec{v} -ni sahəyə paralel və perpendikulyar olmaqla iki komponentə ayırmaq olar. Onların ədədi qiyməti

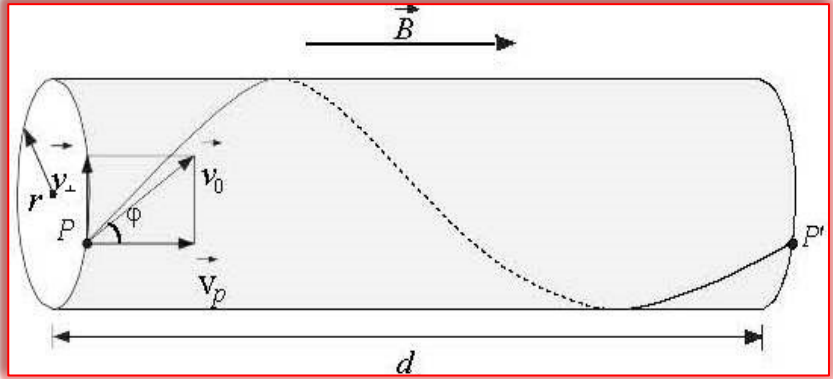
$$v_{\parallel} = v \cdot \cos\varphi, \quad (1.11)$$

$$v_{\perp} = v \cdot \sin\varphi. \quad (1.12)$$

Elektronların hərəkət istiqamətləri maqnit qüvvə xətləri ilə 0° və 90° -yə bərabər olmayan φ bucağı təşkil edir. Maqnit sahəsi, sürətin sahə istiqamətində olan toplananına (uzununa toplanan)

$v_{\parallel} = v \cdot \cos\varphi$ təsir göstərmir və nəticədə elektronun v_{\parallel} - komponenti dəyişməz qalır.

Müstəviyə perpendikulyar yönəlmiş sahədə hərəkət edən elektronun sürətinin toxunan komponenti $v_{\perp} = v \cdot \sin\varphi$ Lorens qüvvəsinə məruz qalır. Bu zaman elektron (1.9) tənliyinə əsasən şəkil 1.5 -də olduğu kimi sabit radiuslu çevrə cızır.

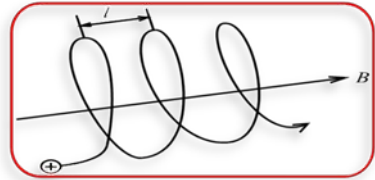


Şəkil 1.5 Elektronun bircins \vec{B} maqnit sahəsində P nöqtəsindən başlayaraq, φ -bucağı altında tam çevrə boyunca hərəkəti

Bu halda çevrənin radiusu

$$r = \frac{v_{\perp}}{(e/m)B} = \frac{v}{(e/m)B} \sin\varphi \quad (1.13)$$

kimi təyin edilir. Onda hərəkətin trayektoriyası oxu maqnit sahəsi istiqamətində yönəlmiş spiraldır (şəkil 3). Spiralin addımını l və bir tam dövrə sərf olunan zamanı (periodu) T ilə işarə etsək, hesablamadan spiralin addımı üçün alarıq:



Şəkil 1.6

$$l = \vartheta_{\parallel} T = \frac{2\pi\vartheta_{\parallel}}{(e/m)B} = \frac{2\pi\vartheta}{(e/m)B} \cos\varphi. \quad (1.14)$$

φ bucağının kiçik qiymətlərində $\cos\varphi=1$ qəbul etmək olar. Onda spiralın addımı üçün

$$l = \frac{2\pi\vartheta}{(e/m)B} \quad (1.15)$$

alarıq, yəni elektronun bir perioda bərabər zaman müddətində sahə istiqamətində getdiyi yol φ bucağından asılı olmayıb e/m nisbətindən asılıdır. Ona görə də bir nöqtədən çıxan elektronlar bir perioddan sonra yenə də bir nöqtədə toplanacaqlar (bu nöqtələr arasındakı məsafə l - ə bərabər olur). Beləliklə, bütün elektronlar üçün ϑ_{\parallel} eynidirsə, φ -nin istənilən qiymətində elektronlar yenidən bir nöqtədə toplanır. Buradan belə qənaətə gəlmək olar ki, eyni enerjili elektronlar dəstəsi uzununa maqnit sahəsinin təsiri ilə müəyyən məsafədə fokuslanır.

Solenoidin belə fokuslama təsiri uzununa maqnit sahəsi üsulunun əsasını təşkil edir. Maqnit sahəsinin B induksiyası üçün uyğun qiymət seçməklə solenoidin qurtaracağında qoyulmuş flüoressensiyaedici ekranda elektron dəstəsini fokuslamaq olar. Dəstəni fokuslamaq üçün lazım olan sahənin intensivliyini bilməklə, $\frac{e}{m}$ -i hesablamaq mümkündür. Doğrudan da, (1.10) ifadəsindən ϑ üçün alınan

$$\vartheta = \frac{l}{2\pi} \frac{e}{m} B \quad (1.16)$$

qiymətini

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = eU \quad (1.17)$$

tənliyində yazsaq,

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2} \quad (1.18)$$

alarıq. Müxtəlif üsullarla aparılan ölçülərin daha dəqiq analizi nəticəsində elektronun xüsusi yükü üçün alınan ən dəqiq qiymət isə

$$\frac{e}{m} = (1,7592 \pm 0,00005) \cdot 10^7 SQSM \cdot q^{-1}$$

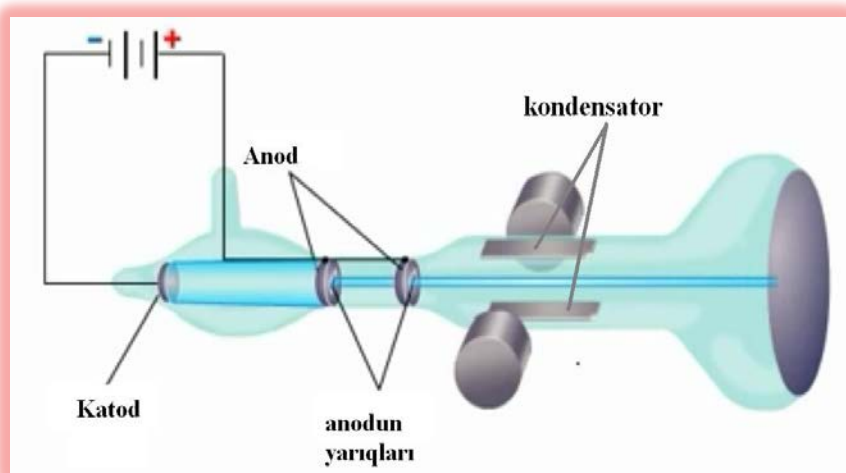
və ya

$$\frac{e}{m} = (1,7592 \pm 0,00005) \cdot 10^{11} \frac{Kl}{kq}$$

bərabərdir.

Beləliklə, fokuslandırma xüsusiyyəti elektronun xüsusi yükünün təyin olmasına imkan verir.

QURĞUNUN TƏSVİRİ: Elektronun xüsusi yükünün təyin olunması sxemi şəkil 4-də göstərilmişdir. Boru uzun solenoidin içərisində yerləşdirilir (şəkil 1.7). Borunun meyletdirici lövhələri xarici gərginlik mənbəyinə birləşdirilir. Qurğu katoddan, anoddan, kondensatordan və solenoiddən ibarətdir. Katoddan çıxan elektronlar katodla anod arasındakı sürətləndirici potensial fərqinin təsiri altında sürətlənərək anodun kiçik yarığında keçib, kondensatorun lövhələri arasındakı dəyişən E elektrik sahəsinə düşür. Bu sahənin təsiri ilə onlar yuxarı və aşağı meyl edən elektronlar dəstəsinə çevrilirlər.



Şəkil 1.7. Uzununa maqnit sahəsinin köməyi ilə xüsusi yükün təyini üsulunun sxemi

φ bucağı altında meyl edən elektronlar borunun flüoressensiyaedici ekranında nazik işıq saçan xətti cızır. Maqnit sahəsinin artırdıqda həmin xətt kiçilir və tədricən bir nöqtəyə yığılır. Solenoidin sarğılarından keçən cərəyanı dəyişməklə maqnit sahəsinin induksiyasını dəyişmək mümkündür. Fokuslanma zamanı:

$$d = \vartheta_{\perp} NT \quad (1.19)$$

Burada d – anodla ekrana qədər olan məsafədir. N – fokusların sayıdır. (1.10) ifadəsini (13) -də nəzərə alsaq:

$$d = \frac{2\pi N\vartheta}{(e/m)\times B} \quad (1.20)$$

Kondensatordan kiçik meyl bucağı altında çıxan və eyni bir ϑ sürətinə malik olan elektronlar maqnit sahəsinə perpendikulyar müstəvidə bir çevrənin cızılmasına sərf olunan müddətdə solenoidin oxu boyunca eyni bir məsafəni qət edir və uzununa maqnit sahəsinin təsiri altında müəyyən d məsafəsində fokuslanırlar. Beləliklə, fokuslandırılma xüsusiyyəti elektronun xüsusi yükünün təyin olmasına imkan verir.

VİRTUAL LABORATORİYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

1. "Start" düyməsini aktivləşdirin. Solenoidin dolağındakı cərəyan şiddətini seçin.
2. Borunun daxilindəki maqnit sahəsinin induksiyasını $B = \frac{\mu_0 n J}{d}$ tənliyindən istifadə edərək təyin edin. Burada n – solenoidin sarğılarının sayı, J – solenoidin dolağındakı cərəyan şiddəti, l – solenoidin uzunluğudur.
3. Elektronun xüsusi yükü üçün verilmiş $\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2}$ tənliyindən istifadə edərək $\frac{e}{m}$ yükünü hesablayın.
4. Digər cərəyan və gərginliklərin müxtəlif qiymətlərində də təcrübələri təkrarlayın və hesablamalar zamanı aşağıdakı kəmiyyətlərdən istifadə edin.
5. Laboratoriyadakı qurğu üçün: spiralın addımı $d = 0,4m$, solenoidin sarğılarının sayı $n=2000$, vakuumda maqnit nüfuzluğu $\mu_0 = 1,256637 \times 10^{-6}$ Hn/m, anoddan ekrana qədər olan məsafə $l=0,095m$ – dir.

Müşahidələr:

U (Volt)						
J (Amper)						
B (Tesla)						

Drehung der Anzeitanzeige
 (nur für die Schaltungen)

um die x-Achse Grad
 links / rechts Grad
 Spalte sichtbar

Ansicht

Größe der Teilchenbahn
 1
 2

Spannung (in A)
 Durchflussgleichspannung (in V)
 Arbeitspannung Ein Aus
 Ein Aus

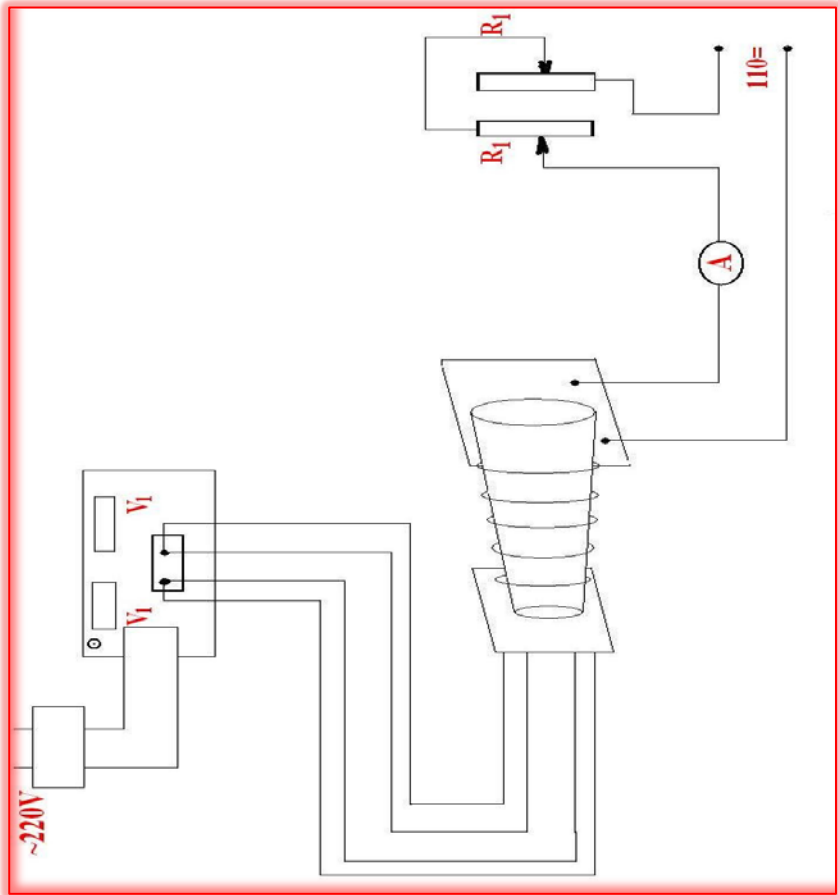
<https://sdu.edu.az/az/physics> elektronun xüsusi yükünün təyini

REAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

- 1.** Şəkil 1.8-də verilmiş sxemi yığmalı və solenoid dövrəsinə mənbə ilə birləşdirməli. Sonra naqilin K (katod ucluğunu mənfəi qütbə, anod ucluğunu isə $3000V$ yüksək gərginlik mənbəyinin müsbət qütbünə birləşdirilir. H ucluğu isə közərmə $6,3V$ – luq qütbə birləşdirilir. Yüksək voltlu düzləndiricidən gələn naqil $220 V$ - luq şəbəkəyə qoşulur.
- 2.** Əvvəlcə düzləndirici, sonra isə elektron-şüa borusunu cərəyan mənbəyinə qoşmalı. Boru qızdıqdan sonra onun ekranında işıqlı ləkə (xətt) almalı. Borunun ekranında yayılmış ləkə alınarsa, bu o deməkdir ki, boru düzgün işləyir.
- 3.** Ölçmələr zamanı R_1 və R_2 reostatlarından istifadə edilir. Reostatu yavaş-yavaş hərəkət etdirməklə (əvvəl R_1 , sonra isə ardıcıl olaraq R_2 reostatından istifadə etməli) birinci fokuslanma və ona uyğun cərəyan şiddəti qeyd edilir. Cərəyanı artırmaqla sonrakı fokuslar qeyd edilir. Ölçmələr zamanı çalışmaq lazımdır ki, gərginlik sabit qalsın.
- 4.** Cərəyan şiddətlərinin nisbətləri $J_1:J_2:J_3 = 1:2:3$ şəklində olmalıdır. Əgər bu münasibət ödənməzsə, deməli, ya hansısa fokuslanma nəzərə alınmayıb ya da ampermetr düzgün qiymətlər göstərmir.
- 5.** Solenoid üzərinə sarınmış bir qatlı sarğacın yaratdığı maqnit sahəsi B -ni millivebermetrlə və sarğacdan keçən cərəyanı (I_s) ampermetrlə ölçməli, alınan nəticəyə görə $B=f(I_s)$ asılılığını qurmali.
- 6.** B -ni (I_s -i) yavaş-yavaş artırmaqla ləkəni bir nöqtəyə yığmalı və bu hala uyğun gələn B -ni və anod-katod arasındakı $V_A = \varphi_1 - \varphi_2$ -ni voltmetrlə ölçməli.
- 7.** Elektronun çıxdığı və toplandığı nöqtələr arasındakı ℓ məsafə-sini ölçməli.
- 8.** Alınan qiymətləri (B, V_A, ℓ -i) (11) - də yazıb $\frac{e}{m}$ hesablamalı.

9. B -ni artırmaqla B_{n1}, B_{n2}, \dots və s. qiymətlərini tapıb (11) düsturunda yazıb $\frac{e}{m}$ -in orta qiymətini hesablamalı.

Diqqət! Elektron-şüa borusunda yüksək gərginlikdən istifadə edildiyi üçün təhlükəsizlik texnikasına tam əməl etmək lazımdır.



Şəkil 1.8

Mövzuya aid testlər

1. Katodun qarşısına müəyyən formada metal ekran qoyulsa və elektrodlar yüksək gərginlik mənbəyinə birləşdirilsə, borunun katod qarşısındakı divarında həmin formada metalın kölgəsi alınır. Bu kölgəni yox etmək üçün hansı hərəkəti yerinə yetirmək lazımdır?
 - A. elektrodların qütblərini dəyişdirmək
 - B. elektrodların qütblərini bir-birinə yaxınlaşdırmaq
 - C. katodu divara müəyyən qədər yaxınlaşdırmaq
 - D. boruda vakuum yaratmaq.
2. Kruks balonu günümüzdə necə adlanır?
 - A. katod şüa borusu
 - B. elektron şüa borusu
 - C. vakuum borusu
 - D. Kruks (Crookes) borusu.
3. Aşağıdakılardan hansı fikirlər doğrudur?
 - A. Katod şüaları protonlar dəstəsidir.
 - B. Katod şüaları enerjiyə malikdir.
 - C. Katod şüaları neytronlar dəstəsidir.
 - D. Katod şüaları enerjiyə malik deyil.
4. Katod şüaları
 - A. pozitronlar selindən ibarətdir.
 - B. protonlar selindən ibarətdir.
 - C. fotonlar selindən ibarətdir
 - D. mənfəi yüklü zərrəciklər selindən ibarətdir.

5. **Yüklü zərrəciklərin maqnit sahəsində meyli**
- A. onun yükündən və kütləsindən asılı deyildir.
 - B. onun yükündən və kütləsindən asılıdır.
 - C. elektrik sahəsinin intensivliyindən asılıdır.
 - D. başlanğıc sürətindən asılıdır.
6. **$\varphi = 0^0$ olduqda maqnit sahəsinin təsiri nəticəsində elektronlar necə hərəkət edər?**
- A. əyrixətli
 - B. spiralvari
 - C. düzxətli bərabər sürətli
 - D. heç biri doğru deyil.
6. **$\varphi = 90^0$ olduqda maqnit sahəsinin təsiri nəticəsində elektronlar necə hərəkət edər?**
- A. çevrə boyunca bərabərsürətli
 - B. düzxətli bərabər sürətli
 - C. spiralvari
 - D. əyrixətli
7. **$\varphi = 30^0$ olduqda maqnit sahəsinin təsiri nəticəsində elektronlar necə hərəkət edər?**
- A. spiralvari
 - B. çevrə boyunca bərabərsürətli
 - C. düzxətli bərabər sürətli
 - D. əyrixətli
9. **$\vec{F}_L = e\vec{v} \times \vec{B}$ - Lorens qüvəsi həmişə**
- A. elektronun hərəkətindən asılı deyil.
 - B. elektronun hərəkət istiqamətinə paraleldir.
 - C. elektronun hərəkət istiqamətinə perpendikulyardır.
 - D. heç biri doğru deyil.

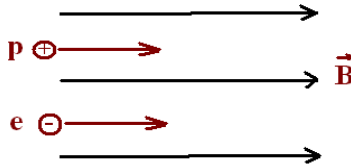
10. Yükün çevrə üzrə tam bir dövrü üçün tələb olunan zaman T (period)

- A. elektronun v_x sürətindən asılı deyil, yalnız r radiusundan asılıdır.
- B. elektronun v_x sürətindən asılıdır, amma r radiusundan asılı deyildir.
- C. elektronun v_x sürətindən və r radiusundan asılı deyildir.
- D. elektronun v_x sürətindən və r radiusundan asılıdır.

11. ϕ bucağı altında meyl edən elektronlar borunun flüoresensiya edici ekranında nazik işıq saçan xətti cızır. Maqnit sahəsini artırıqda həmin xətt necə dəyişir

- A. tamamilə yox olur
- B. böyüyür və bütün oblastı əhatə edir.
- C. kiçilir və tədricən bir neçə nöqtəyə yığılır.
- D. kiçilir və tədricən bir nöqtəyə yığılır.

12. Bircins maqnit sahəsinə daxil olan proton və elektron necə hərəkət icra edər?

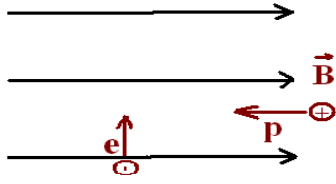


Proton

Elektron

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| A. düzxətli bərabərsürətli | düzxətli bərabərsürətli |
| B. çevrə üzrə bərabərsürətli | düzxətli bərabərsürətli |
| C. düzxətli bərabərsürətli | çevrə üzrə bərabərsürətli |
| D. düzxətli bərabəryeyinləşən | düzxətli bərabəryavaşayan |

13. Bircins maqnit sahəsinə daxil olan proton və elektron necə hərəkət icra edər?



Proton

Elektron

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| A. düzxətli bərabərsürətli | çevrə üzrə bərabərsürətli |
| B. düzxətli bərabərsürətli | düzxətli bərabərsürətli |
| C. çevrə üzrə bərabərsürətli | çevrə üzrə bərabərsürətli |
| D. düzxətli bərabəryeyinləşən | düzxətli bərabəryavaşayan |

TESTİN DÜZGÜN CAVABLARI

1.A 2.A 3.B 4.D 5.B 6.C 7.A 8.A 9.C 10.C 11.D 12. A 13.A

Yoxlama sualları

1. Lorens qüvvəsi nədir və onun istiqaməti necə təyin olunur?
2. Kondensator vasitəsilə elektronun xüsusi yükünü təyin etmək olarmı?
3. Elektronun xüsusi yükü nədir?
4. Elektron bircinsli maqnit sahəsində nə vaxt spiralvari hərəkət edər?
5. Spiralın addımı hansı düsturla təyin edilir?
6. Elektron-şüa borusunun quruluşu necədir?
7. Solenoid nəyə deyilir?
8. Solenoidin maqnit sahəsinin induksiyası hansı düsturla təyin olunur?
9. Elektronun xüsusi yükünü hansı düsturla hesablamaq olar?
10. Elektronun kütləsi tamamilə elektromaqnit təbiətinə malik ola bilərmi?

LABORATORİYA İŞİ 2

MİLLİKEN TƏCRÜBƏSİ. YAĞ DAMCISI VASİTƏSİLƏ ELEKTRİK YÜKÜNÜN ÖLÇÜLMƏSİ

İşin məqsədi: Elektronun yükünü damcı üsulu ilə təyin etmək. Yükün diskretliyini göstərmək.

Cihaz və ləvazimatlar: Müstəvi kondensatorlu qurğu, işıqlandırıcı, gərginlik açarı, pulverizator, yüksək gərginlik mənbəyi, saniyə ölçən, mikroskop və voltmetr.



Mənbə: Milliken təcrübəsi

<https://sdu.edu.az/az/physics>

https://www.youtube.com/channel/UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw

İşin nəzəriyyəsi:

Elektrik yüklərinin diskretliyinin bilavasitə isbatını verən və ayrı-ayrı hissəciklərin yüklərini ölçmək yolu ilə elektronun yükünün dəqiq qiymətini təyin edən Amerika alimi A.Milliken olmuşdur. Bu işlərinə görə 1923-cü ildə Milliken Nobel mükafatına layiq görülmüşdür.

Millikenin təcrübü metodu çox kiçik yağ damcılarının yükünü bilavasitə ölçməkdən ibarətdir. Təcrübənin ideyası aşağıdakı kimidir: elektrik yükləri diskret təbiətə malik deyilsə, onda hər bir damcının yükü arasıkəsilmədən dəyişərək ixtiyari qiymətlər alar.

Elementar elektrik yükü olduğu halda isə yükün qiyməti yalnız sıçrayışla dəyişər. Bu dəyişmənin qiyməti də ən kiçik elementar yükə, ya da onun tam misillərinə bərabər olar. Milliken öz təcrübələrində böyük dəqiqliklə elementar elektrik yükünün qiymətini ölçə bilmişdir.



Robert Milliken (1868- 1953)

Milliken qurğusunun sxemi şəkil 1-də verilmişdir. AD

pulverizatoru vasitəsilə tozlandırılan yağ damcılar hava ilə sürülmə nəticəsində elektriclənir və bu damcılar kondensatorun üst lövhəsindəki M yarığından lövhələr arasına daxil olur.

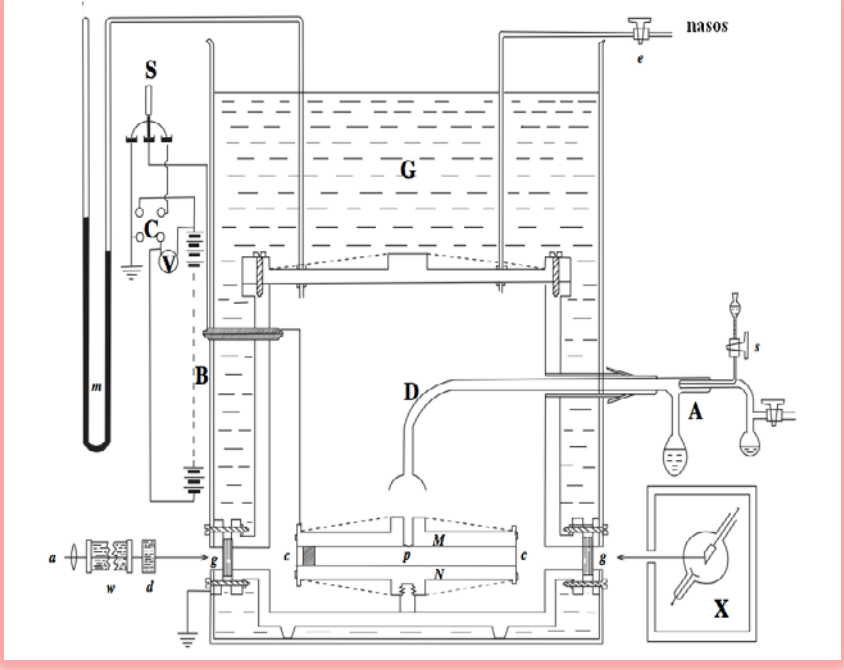
Əvvəlcə kondensatorun M və N lövhələri arasında elektrik sahəsi olmadıqda düşən yağ damcılar müşahidə edilir. Onlar ağırlıq qüvvəsinin təsiri ilə sürətlənir, lakin havanın müqaviməti sayəsində tədricən yavaşayır və müəyyən müddətdən sonra bərabərsürətli hərəkət etməyə başlayır.

Kondensatorun daxilində damcının hərəkəti mikroskop vasitəsi ilə müşahidə edilir. Məlumdur ki, mikroskopun okulyarının fokal müstəvisində üfq istiqamətdə aralarında müəyyən məsafə məlum olan cizgilər mövcuddur. Damcının hər hansı məsafəni qət etməsi üçün sərf etdiyi müddət saniyəölçən vasitəsi ilə təyin edilir.

Elektrik sahəsi olmadıqda damcının sürəti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\vartheta_1 = \frac{l_1}{t_1}. \quad (1.19)$$

Burada l_1 –yağ damcısının yerdəyişməsi (n_1 və n_2 bölgüləri arasındakı məsafə $l_1=n_2-n_1$), t_1 isə bu yerdəyişməyə sərf olunan zamandır.



Şəkil 1.9. Milliken qurğusunun sxemi: a –ışığı mənbəyi, w və d – istilik şüalanmasının udulması üçün filtrlər, M və N –kondensatorun lövhələri, AD –yağ damcılarını almaq üçün pulverizator, G –yağ vannası (termostat), B- batareya, m –manometr, X –Rentgen şüa borusu.

Sahə olmadıqda damcıya ağırlıq qüvvəsi,

$$F_{ağ} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \quad (1.20)$$

havanın müqavimət qüvvəsi (Stoks qüvvəsi) və Arximed qüvvəsi təsir edir (şəkil 1.10).

$$F_{St1} = 6 \pi \eta r \vartheta_1, \quad (1.21)$$

$$F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{hava} g. \quad (1.22)$$

Burada r və ρ damcının radiusu və sıxlığı, ϑ_1 - sürəti, η və ρ_{hava} havanın daxili özlülük əmsalı və sıxlığıdır. Qərarlaşmış hərəkət zamanı kürə sabit sürətlə hərəkət etdiyindən havanın F_{St1} müqavimət qüvvəsi, ağırlıq və Arximed qüvvələrinin əvəzləyicisinə bərabər olar, yəni

$$F_{əv} = F_{ağ} - F_A, \quad (1.23)$$

$$F_{əv} = F_{St1}. \quad (1.24)$$

və ya

$$\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \rho_{hava}) g = 6 \pi \eta r \vartheta_1. \quad (1.25)$$

Bu düsturdan damcının radiusunu təyin edirik:

$$r = 3 \sqrt{\frac{\eta \vartheta_1}{2g(\rho - \rho_{hava})}}. \quad (1.26)$$

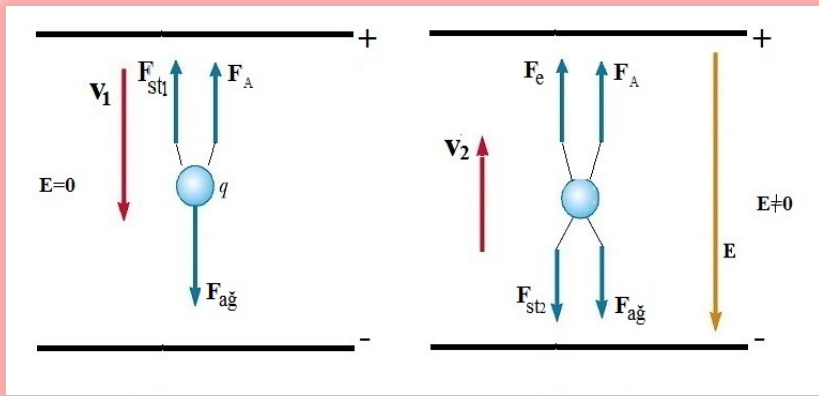
İndi gərginlik mənbəyi tərəfindən, kondensatorun lövhələri arasında elə elektrik sahəsi yaratmaq olar ki, yağ damcısı tarazlıqda qalsın. Lakin damcını tarazlığa gətirmək çox çətin olduğundan elektrik sahəsi elə seçilir ki, damcı yuxarı hərəkət etsin. Damcının qərarlaşmış sürəti v_2

$$v_2 = \frac{l_2}{t_2} \quad (1.27)$$

kimi hesablanır. Burada l_2 –damcının yerdəyişməsi (qət etdiyi məsafə), t_2 – bu yerdəyişməyə sərf olunan zamandır. Sahə olduqda yükü q olan damcıya əlavə olaraq

$$F_e = qE \quad (1.28)$$

elektrik qüvvəsi də təsir edəcəkdir (şəkil 1.11).



Şəkil 1.10. Sahə olmadıqda yağ damcısına təsir edən qüvvələr

Şəkil 1.11. Sahə olduqda yağ damcısına təsir edən qüvvələr

Kondensatorun lövhələr arasındakı gərginlik U , lövhələr arasındakı məsafə d olduğundan kondensatorun lövhələri arasında elektrik sahəsinin intensivliyi

$$E = \frac{U}{d} \quad (1.29)$$

olar. Lövhələr arasındakı gərginlik voltmetrlə ölçülür. Elektrik sahəsində damcının hərəkət tənliyi

$$qE = F_{\vartheta v} + F_{st2} \quad (1.30)$$

kimi təyin edilir. Lakin (1.24) düsturuna görə, $F_{\vartheta v} = F_{st1}$ olduğundan alırıq ki,

$$qE = F_{st1} + F_{st2} \quad (1.31)$$

və ya

$$qE = 6\pi\eta r(\vartheta_1 + \vartheta_2) \quad (1.32)$$

Burada damcının (1.26) radiusunu nəzərə alsaq, damcının yükü üçün

$$q = 9\pi \frac{(\vartheta_2 + \vartheta_1)}{E} \sqrt{\frac{2\eta^3 \vartheta_1}{g(\rho - \rho_{\text{hava}})}} \quad (1.33)$$

düsturunu təyin edirik.

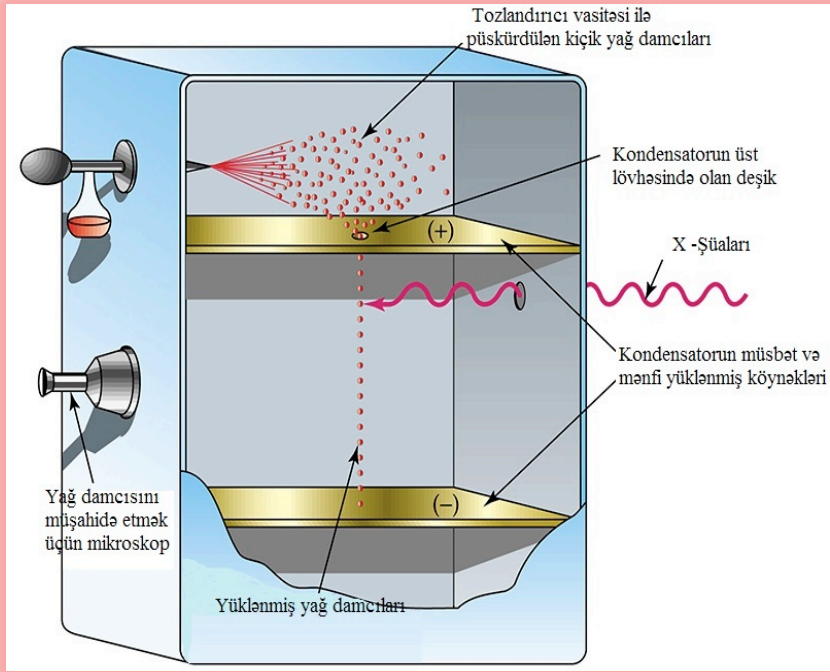
Beləliklə, damcının ϑ_1 sərbəstdüşmə sürətini və məlum elektrik sahəsində ϑ_2 qalxma sürətini ölçməklə onun q yükünü təyin etmək olar. Milliken damcının q yükünə uyğun ϑ_2 sürətini təyin etdikdən sonra, lövhələr arasındakı fəzanı Rentgen, ultra-

bənövşəyi və ya radioaktiv şüalar vasitəsilə şüalandırmaqla havanı ionlaşdırır. Bu zaman yaranan ionlar yağ damcısına birləşərək onun yükünü dəyişir və nəticədə ϑ_2 sürəti də dəyişməyə məruz qalır. Ona görə də, damcının yükü q_1, q_2, q_3 və s. qiymətlər alır. Sonra yüklərin tapılmış qiymətlərini, eləcə də onların $(q_1 - q), (q_2 - q), (q_3 - q) \dots$ fərqlərini bir-birilə müqayisə edərək, bu kəmiyyətlərin ümumi ən böyük bölənini təyin edirik ki, bu da, məhz elementar yükün qiymətinə bərabər olur.

Albert Milliken dəfələrlə təkrar təcrübələr aparmış və damcının q yükü və yükün Δq dəyişməsini hər dəfə ölçməklə eyni bir kəmiyyətin tam misillərinə bərabər qiymətlər almışdır. Beləliklə, təcrübü olaraq elektrik yükünün diskretliyi sübuta yetirilmişdir. Yəni, elektrik yükü $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ –a bərabər olan elementar yükün tam misillərinə bərabərdir:

$$q = \pm Ne, \quad N = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1.34)$$

QURĞUNUN TƏSVİRİ: Milliken tərəfindən elektronun yükünün elementar olması və yaxud yükün kəsilməz yox, diskret dəyişməsinə təsdiq edən virtual cihazın sxemi şəkil 1.12-də verilmişdir. Cihazın əsas hissəsi müstəvi kondensatordan ibarətdir.



Şəkil 1.12. Elektronun yükünü təyin etmək üçün virtual qurğu

Milliken yağ damcısından istifadə edərək işığın təsiri ilə qopan elektronların yükünü təyin etmişdir. Millikenin tətbiq etdiyi üsul çox kiçik yağ damcılarının yükünün bilavasitə ölçülməsindən ibarətdir. Burada yalnız bir elektronun yükü təyin edilir.

Xüsusi tozlandırıcı vasitə ilə püskürdülmüş kiçik yağ damcıları üst lövhədə olan dəlikdən lövhələr arasına düşür. Mikroskop

vasitəsilə yağ damcılarını müşahidə edə bilirik. Müsbət və mənfi yüklənmiş iki lövhə və bu lövhələr arasında kamera yerləşdirmək olar. Kondensatorun lövhəcikləri gərginliyi bir-neçə yüz volt olan cərəyan mənbəyinə qoşulmuşdur, eyni zamanda lövhələr arasındakı gərginliyi tənzimləmək və dəqiq ölçmək mümkündür. Kondensatoru xarici təsirlərdən qorumaq üçün o, qoruyucu örtük daxilində yerləşdirilir. Örtük sistemin temperaturunu sabit saxlayır və damcıları havanın konveksiya cərəyanlarından qoruyur.

Kondensatorun lövhələri arasındakı fəzada, kamera tərəfindən yağ damcılarını Rentgen şüaları, ultrabənövşəyi şüalar və ya radioaktiv şüalar vasitəsilə ionlaşdırılır. Havada hərəkət edərkən, bu damcıların üzərinə elektronlar toplanır və mənfi yük yaranır. Kondensatorun lövhələrinə tətbiq olunan gərginliyi dəyişdirməklə yağ damcılarının hərəkət sürətini nizamlamaq olur və bu yolla damcı havada dayanıqlı vəziyyətə gətirilə bilər. Gərginliyi dəyişdirməklə bir-birindən fərqli damcılar müşahidə olunur.

VIRTUAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

1. "Start" düyməsini aktivləşdirin.
2. Yağ damcısını kursor vasitəsilə seçin.
3. "Start" düyməsini aktivləşdirməklə okulyarda yağ damcılarının hərəkətini müşahidə edin. "Stop" düymələrini basdıqdan sonra yağ damcısının iki nöqtə arasındakı getdiyi l_1 məsafəsini və bu məsafəni qət etmək üçün sərf olunan t_1 zamanını təyin edin.
4. Tarazlayıcı potensial vasitəsilə, havada hər hansı yağ damcısını dayandırmaq, yəni, istiqamətinin dəyişməsi üçün "Voltage On" düyməsini aktivləşdirin.
5. "X Ray On" düyməsini basaraq iki nöqtə arasındakı yağ damcısının getdiyi l_2 məsafəsini qeyd edin və bu məsafəyə sərf olunan t_2 zamanını təyin edin.
6. Damcının yükü üçün verilmiş

$$q = 9\pi \frac{(\vartheta_2 + \vartheta_1)}{E} \sqrt{\frac{2\eta^3 \vartheta_1}{g(\rho - \rho_{hava})}}$$

ifadəsindən istifadə edərək yağ damcısının yükünü hesablayın.

7. Digər yağ damcıları üçün də təcrübələri təkrarlayın.
Qeyd: hesablamalar zamanı aşağıdakı kəmiyyətlərdən istifadə edin:


yağ damcısının sıxlığı $\rho = 0,89 \text{ q/sm}^3$, havanın daxili sürtünmə əmsalı $\eta = 1,83 \cdot 10^{-4} \text{ Puaz}$, kondensatorun lövhələri arasındakı məsafə $l = 0,6 \text{ sm}$ -dir.

Müşahidələr:

Gedilən məsafə l_1 (sm)	Sərf olunan zaman t_1 (san)	Gedilən məsafə l_2 (sm)	Sərf olunan zaman t_2 (san)	sürət		Tarazlayıcı gərginlik U	damcımm yükü q
				ϑ_1 (m/san)	ϑ_2 (m/san)		



Millikan's Oil Drop Experiment



Variables

Reset

Choose Oil Type:

Switch ON/OFF Voltage:

Adjust Voltage (KV):

Measurements

Voltage Applied (V) = 4100

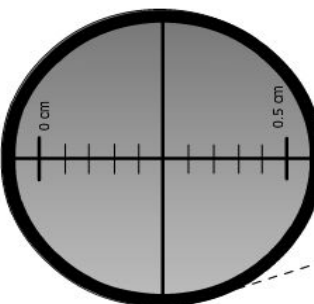
Oil Density (kg/m³): 920



Plate Distance (m) = 0.016



min s ms
00: 05: 16



0 cm 0.5 cm

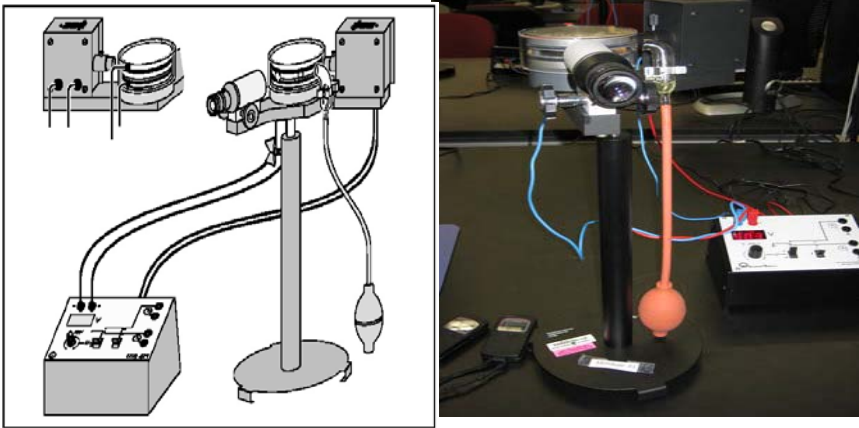
Amrita Virtual Lab

Copyright (C) Amrita University 2009-12

<http://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=195>

REAL LABORATORIYA İŞİNİN MİLLİKEN YÜKÜNÜ TƏYİN EDƏN LEYBOLD DİDAKTİK CİHAZINDA APARILMA ARDICILIĞI:

Yağ damcısı vasitəsilə elektrik yükünün ölçülməsini və elektrik yükünün diskretliyini isbat edən real cihazın sxemi şəkil 1.5-də göstərilmişdir.



Şəkil 1.5: Milliken yağ damcısının yükünü təyin edən Leybold Didaktik cihazı

Lampanı yandırılıb mikroskopa elə yönəltmək lazımdır ki, müşahidə sahəsi yaxşı işıqlansın. Tozlandırıcı vasitəsilə yağ damcıları püskürdülür. Pulverizatorun kranını elə açmaq lazımdır ki, kondensatorun lövhələri arasında yağ damcıları çox olmasın. Damcıları elə seçmək lazımdır ki, onların iki böyük cizgi arasındakı məsafənin düşmə müddətləri 10-30s arasında olsun. Elektrik sahəsinə qoşulduqda gərginlik elə seçilməlidir ki, damcı yuxarı hərəkət edə bilsin. Bunun üçün kiçik gərginlik tələb olunur. Bu halda böyük yüklü damcılardan istifadə etmək əlve-

rişli deyil. Təcrübənin əvvəlində böyük damcıların kondensatorun aşağı lövhələrinə düşmələri üçün 5-10 san gözləmək lazımdır. Sonra eyni kiçik damcının elektrik sahəsi olduqda və olmadıqda eyni məsafəni qət etməsi üçün sərf olunan zaman ölçülür.

Burada proses eynilə virtual qurğuda baş verən ardıcılıqla yerinə yetirilir.

- Saniyəölçəndən istifadə edərək yağ damcısının düşmə və qalxma müddətini ölçə bilərik. Saniyəölçənin sağ düyməsindən istifadə edərək başlanğıc və son müddət arasındakı zaman intervalı qeyd edilir. Sol düymədə isə yağ damcısının hərəkəti zamanı sərf etdiyi zaman qeyd olunur.
- Enerji mənbəyi, “On/Off” açarı vasitəsilə qoşdurulur və söndürülür. Cihaz 12V-luq enerji mənbəyinə birləşdirilir. Bu cihaz vasitəsilə iki funksiya icra edilir: I -ışıq mənbəyi kimi – qaranlıq otaqda yağ damcısını işıqlandırmaq üçün; II – kondensatorun lövhələrində elektrik potensiallar fərqi yaratmaq üçün.
- Stendə nəzər salsanız Milliken yağ damcısı kamerasının ətraf mühitlə təcrid edildiyini görə bilərsiniz (hava axınları təsirini azaltmaq üçün). Kondensatorun lövhələri arasında məsafə təxminən 6 mm -dir.
- Onu da qeyd edək ki, kameranın arxa tərəfində qara lent vardır. O, elə qaranlıq fondur ki, siz onun qarşısında parlaq yağ damcılarını müşahidə edə, həmçinin mikroskop vasitəsilə damcıların görüntülərini izləyə bilərsiniz.

- Kondensator lövhələrini enerji mənbəyi ilə bağlantısına, yəni kondensatorun üst lövhəsinin “+” yüklənməsinə (qırmızı məftil ilə), alt lövhəsinə isə “-” yüklənməsinə (mavi məftil ilə) əmin olun.
- U açarını çevirin və bütün ($0 - 600 V$) aralığındakı gərginlik düymələrini yığın, müşahidələr aparın. Bu tip ölçmələri 10-a qədər damcı üçün aparmaq lazımdır.
- Sonra eyni damcının sahə olmadıqda müəyyən məsafəni qət etməsi zamanı ölçülür. Bu tip ölçmələri yenə də 10-a qədər damcı üçün aparmaq lazımdır.
- Bunlar üçün ən böyük ortaqlar $e, 2e, 3e$ və s. ola bilər. e üçün tapılan qiymət SQSE və ya BS -də verilə bilər. Hesablamalar zamanı istifadə olunan sabitlər aşağıdakılardır:
- d – kondensatorun lövhələri arasındakı məsafə ($6mm$), ρ – yağ damcısının sıxlığı ($874 kg/m^3$), η – havanın özlülük (daxili sürtünmə) əmsalı ($1,81 \times 10^{-5} N \cdot s / m^2$), g – sərbəst düşmə təcili ($9.81 m/s^2$).

ÖLÇMƏ NƏTİCƏLƏRİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

1. Bütün damcıların yüklərinin ədədi qiymətləri hesablandıqdan sonra, nəticələrin müəyyən intervalda qruplanması aparılır, bu isə elektrik yüklərinin kvantlanmasını göstərir. q_i yükünün qiymətlərinin qruplandığı intervallar elektronun yükünün təxminən tam qiymətlərinə malik olduğu intervallardır.
2. Daha sonra hər intervalda olan yüklərin orta qiyməti təyin edilir. Bu,

$$\bar{q}_1 = n_1 e, \quad \bar{q}_2 = n_2 e, \dots, \bar{q}_r = n_r e$$

şəklindədir. Burada n_i ($i=1, 2, \dots, r$) tam ədədlərdir. Bu mərhələdə orta yükün qiymətləri uyğun ədədlərə yuvarlaqlana bilər.

3. r sayda orta yükün qiymətinin ən böyük ortaq böləni (ƏBOB) tapılır:

$$\text{ƏBOB}(\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_r) = e.$$

4. Tapılan orta yükün qiymətini ƏBOB qiymətinə bölərək n_i ədədi təyin edilir:

$$n_i = \frac{\bar{q}_i}{e} \quad (i = 1, 2, \dots, r)$$

Bu yolla hər bir interval üçün ümumi elementar yükün sayı müəyyən edilir.

5. Tapılan n_i ədədlərindən istifadə edərək hər bir interval üçün elementar yükün qiyməti təyin edilir.

$$e_1 = \frac{\bar{q}_1}{n_1}, \quad e_2 = \frac{\bar{q}_2}{n_2}, \dots, e_r = \frac{\bar{q}_r}{n_r}.$$

Bu mərhələdə, istifadə edilən orta yükün qiymətləri yuvarlaqlaşdırılmış yükün qiymətləridir.

6. Bu şəkildə əldə edilən e_r qiymətlərinin orta qiymətini əvvəlcə təyin edirik. Bu qiymət bizə elektronun yükünün təxminən bir qiymətini verir.

$$e_{\text{ort}} \equiv e = \frac{e_1 + e_2 + \dots + e_r}{r}$$

7. Təyin olunan e qiyməti, nəzəri e qiymətilə müqayisə edilir və alınan nəticəni izah edirik. Alınan uyğunsuzluqların səbəblərini axtarıq. Təcrübənin xətasını

$$\frac{\text{Nəzəri qiymət} - \text{Təcrübi qiymət}}{\text{Nəzəri qiymət}} \cdot 100\%$$

kimi təyin edirik.

Mövzuya aid testlər

1. Tomson modelinə görə atomu təşkil edən mənfi və müsbət yüklər necə paylanmışdır?
 - A. Müsbət və mənfi yüklər kürənin ətrafında
 - B. Mənfi yüklər kürənin mərkəzində, müsbət yüklər isə onun ətrafında
 - C. Hər iki yük kürənin mərkəzində çox kiçik həcm oblastında
 - D. Atomun bütün müsbət yükləri kürənin daxilində bərabər sıxlıqla paylanır, elektronlar isə tarazlıq vəziyyətləri ətrafında rəqsi hərəkət edirlər
2. Elektroliz qanunlarından çıxan nəticələri nə səbəbə elementar yükün mövcudluğunun tam sübutu hesab etmək olmaz?
 - A. Yalnız bir ionun yükü təyin edilirdi.
 - B. Çoxlu sayda ionların yüklərinin orta qiyməti ölçülürdü.
 - C. Yalnız yüklü zərrəciklər təyin edilirdi.
 - D. Heç biri doğru deyil.
3. Elektronun yükünün dəqiq qiymətini ilk dəfə təyin edən kim olmuşdur?
 - A. Tomson
 - B. Milliken
 - C. Faradey
 - D. Rezerford
4. Millikenin təcrübəsindən alınan əsas nəticə
 - A. elektrik yükünün kəsilməzliyi
 - B. elektrik yükünün həm diskretliyi, həm də kəsilməz olması
 - C. elektrik yükünün diskretliyi

D. elektrik yükünün həm tam, həm də yarımtam qiymətlər alması.

5. Kondensatorun lövhələri arasında aşağı istiqamətdə hərəkət edən yağ damcısı nə səbəbdən yavaşayır və müəyyən müddətdən sonra bərabərsürətli hərəkət etməyə başlayır?

- A. Havanın müqavimət qüvvəsi sayəsində
- B. Arximed qüvvəsinin sayəsində
- C. Ağırlıq qüvvəsinin təsiri ilə
- D. Elektrik qüvvəsinin sayəsində.

6. Kondensatorun lövhələri arasında sahə olmadıqda damcıya hansı qüvvələr təsir edir?

- A. Ağırlıq qüvvəsi, Stoks qüvvəsi və Kulon qüvvəsi
- B. Yalnız ağırlıq qüvvəsi və Stoks qüvvəsi.
- C. Ağırlıq qüvvəsi, Stoks qüvvəsi və Arximed qüvvəsi
- D. Yalnız ağırlıq qüvvəsi və Arximed qüvvəsi

7. Damcının yuxarı istiqamətdə hərəkət etməsinə səbəb nədir?

- A. Kondensatorun lövhələri arasındakı maqnit sahəsi
- B. Kondensatorun lövhələri arasındakı elektrik sahəsi
- C. Kondensatorun lövhələri arasındakı elektrik və maqnit sahələri
- D. Ağırlıq qüvvəsi

8. Müxtəlif ionlar

- A. $1,5e$, $2,5e$, $3,5e$ və s. yüklərini daşıyır.
- B. e , $1,5e$, $2e$, $2,5e$ və s. yüklərini daşıyır.
- C. heç bir yük daşımır

D. e , $2e$, $3e$ ve s. yüklərini daşıyır.

9. Hansı damcılar üçün hərəkəti bərabərsürətli hesab etmək olar?

- A. Kiçik radiuslu zərrəciklər
- B. Böyük radiuslu zərrəciklər
- C. Orta radiuslu zərrəciklər
- D. Bütün hallar doğrudur.

10. Kondensatorun daxilində hərəkət edən böyük radiuslu zərrəcikləri nə səbəbə bərabərsürətli hərəkət hesab etmək olmaz?

- A. Radius kiçildikcə zaman azalır
- B. Radius böyüdükcə zaman artır
- C. Radius kiçildikcə zaman artır
- D. Radius böyüdükcə zaman azalır.

11. Millikenin təcrübəsində

- A. yüklənmiş yağ damcısından istifadə olunur.
- B. neytral yağ damcılarında istifadə olunur.
- C. həm yüklənmiş, həm də neytral yağ damcılarında istifadə edilir.
- D. heç biri doğru deyil.

TESTİN DÜZGÜN CAVABLARI

1.D 2.B 3.B 4.C 5.A 6.C 7.C 8.D 9.A 10.B 11.A

Yoxlama sualları

1. Millikenin təcrübəsinin ideyası nədən ibarətdir?
2. Yağ damcılarının yavaşayan hərəkət etməsinə səbəb nədir?
3. Damcının yuxarıya doğru hərəkət etməsi üçün nə etmək lazımdır?
4. Sahə olduqda damcının hərəkət tənliyi necə təyin edilir?
5. Təcrübə yağ damcısı vasitəsi ilə aparılır, sonda isə elektronun yükü təyin olunur. Yağ damcısından elektronun yükünə necə keçilir və bu necə baş verir?

*Biliksiz adam okeanda azan yelkənsiz gəmiyə
bənzər, ya sahilə çırpılıb parçalanar, ya da tufana
düşüb batar.*

Pifaqor

II FƏSİL

İSTİLİK ŞÜALANMASI VƏ ONUN QANUNLARI



Mənbə: istilik şüalanması

<https://sdu.edu.az/az/physics>

[https://www.youtube.com/channel/](https://www.youtube.com/channel/UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw)

[UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw](https://www.youtube.com/channel/UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw)

§2.1. QARA CİSİM ŞÜALANMASI

İsti cisimlərin ətraflarına işıq saçması (elektromaqnit dalğaları) gündəlik həyatda çox rast gəlinən bir haldır. Məsələn, əridilmiş dəmirin sarı işıq saçdığı məlumdur. Təbiətdəki bütün cisimlər temperaturdan asılı olaraq elektromaqnit dalğaları şəklində enerji şüalandırır, bu şüalanmaya istilik yaxud **temperatur (termik) şüalanması** deyilir. İstilik şüalanması bütün digər növ şüalanmalardan fərqli olaraq tarazlıqlı şüalanmadır.

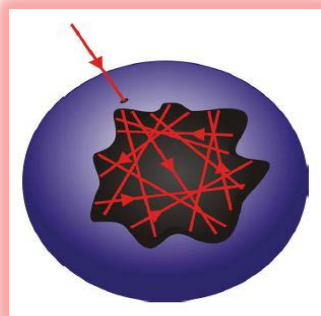
İstilik şüalanması yalnız çox isti cisimlər deyil, əslində temperaturu mütləq sıfır temperaturundan böyük olan bütün cisimlərdə baş verir. Kainatda mövcud ola biləcək ən aşağı temperatur 0°K -dir. Bu temperaturda maddənin zərrəciklərinin irəliləmə hərəkəti tamamilə kəsilir. 0°K -dən yuxarı temperaturlarda bütün cisimlər şüalanır.

Canlılar da bədən temperaturundan asılı olaraq ətrafına elektromaqnit dalğalar buraxır. Biz bu elektromaqnit dalğalarını görə bilmirik. Bir sıra kameralar, məsələn, istilik kamerası və yaxud termal kamera vasitəsilə canlılardan buraxılan dalğaları qəbul edərək görülə bilən hala gətirirlər. Araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, cismin temperaturu yüksəldikcə buraxdığı dalğalar infraqırmızı intervaldan (700nm) görünən və ultrabənövşəyi intervala (10nm) doğru sürüşür.

XIX əsrin sonları XX əsrin əvvəllərində, fizikadakı fundamental problemlərin əsasında isidilən bir metalın necə və niyə şüa buraxması dururdu. Bu səbəbdən Qustav Robert Kirxhof 1850-ci illərdə bütün vaxtını sobada qızdırdığı cisimlərin rənginin dəyişməsinin öyrənilməsi ilə keçirirdi. O, metal cismi davamlı qızdırdıqda, cismin əvvəlcə közərdiyini, sonra isə qızardığını və temperaturu artdıqca da rəngi ağa doğru dəyişərək bütöv spektr verdiyini müşahidə edirdi, bu rəng dəyişməsinin fiziki səbəbini öyrənməyə çalışırdı. Apardığı təcrübələr nəticəsində o, belə nəticəyə gəldi ki, bir cisim üzərinə düşən şüaları nə qədər yaxşı udarsa, bir o qədər də yaxşı şüalandırır.

Bu baxımdan Kirxhof ideal bir cisim fərz etdi və bu cismə mütləq qara cisim adını verdi. *Mütləq qara cisim, üzərinə düşən istənilən tezlikli bütün şüaları udan, heç bir şüanı əks etdirməyən ya keçirməyən, qara görünən bir obyekt*dir. Qurum, qara kağız, qara məxmər, Günəş optik xassələrinə görə mütləq qara cismə yaxındır.

Mütləq qara cisim ideallaşdırılan modeldir, həqiqətdə bu hala uyğun gələn real obyekt (cisim) yoxdur. Bu səbəbdən, mütləq qara cisim, üzərində çox



Şəkil 2.1

kiçik bir yarığı olan (şəkil 2.1) içi oyuq, qeyri-şəffaf kürəciyə bənzədilə bilər. Yarıqdan içeri düşən işıq şüası (elektromaqnit dalğası) kürəciyin daxili divarından dəfələrlə əks olunur və hər dəfə divarlar tərəfindən qismən udularaq, dəfələrlə əks olunmadan sonra isə enerjisini tamamilə itirər, daha xaricə çıxmaz, yəni cismin daxili divarları tərəfindən tamamilə udular.

Çox sadə şəkildə qara cisim belə düşünə bilərik. Günəşli havada bir binanı xatırlayaq. Pəncərələri uzaqdan qara görünür. Çünki pəncərədən daxil olan işıq otağın daxili səthindən dəfələrlə qayıdaraq zəifləyir. Bu zaman işığın intensivliyi zəifləyərək sifirə yaxınlaşır. Nəticədə pəncərədən düşən işıq bayıra çıxmadığından, pəncərə qara görünür. Bu baxımdan, pəncərə qara cisim üçün çox yaxşı bir misaldır.

Apardığı araşdırmalar əsasında Kirxhofu həm nəzəri, həm də təcrübi olaraq bir sual maraqlandırır. Qara cismin vahid zamanda şüalandırdığı enerjisi, temperaturdan və dalğa uzunluğundan asılı olaraq necə dəyişir? Beləliklə, Kirxhof sadəcə temperaturu məlum olan bir cismin hansı dalğa uzunluğunda nə qədər enerji şüalandıracağını təyin etmək mümkün olduğu fikrini irəli sürdü.

Klassik fizika anlayışına görə, isidilən cismin temperaturu artdıqca, cismin buraxdığı şüaların dalğa uzunluğu kiçilərək, tezliyi artır və bu vəziyyət davamlı baş verir. Lakin nəzəriyyədə alınan nəticələrin doğru olmadığı təcrübələrdə aydın oldu. Klassik mexanika konsepsiyası ilə bu vəziyyətə açıqlama gətirə bilmədilər. Klassik fizikada qara cisim şüalanmasında yaranan bu problemlər müasir kvant fizikasının ilk addımlarının atılmasına səbəb oldu.

§2.2 CİSİMLƏRİN ŞÜALANMA VƏ ŞÜAUDMA QABİLİYYƏTİ

Eyni ölçülü və eyni formalı müxtəlif cisimlərin üzərinə eyni miqdarda şüa yönəldikdə onların udduğu enerjinin miqdarı

müxtəlif olduğundan, belə cisimlərin spektral xarakteristikası olaraq şüalanma və şüaudma qabiliyyəti adlı kəmiyyətlərdən istifadə edilir. Hər bir şüalanma və şüaudma vahid səthdən vahid zaman ərzində şüalanan enerji ilə xarakterizə olunur.

Cismin vahid səthinin vahid zamanda vahid tezliklər intervalında şüalandırdığı enerji *şüalanma qabiliyyəti* adlanır. Mütləq qara cismin istilik şüalanmasının enerjisi temperaturdan və dalğa uzunluğundan (tezliyindən) asılıdır. Enerjinin teziyə yaxud dalğa uzunluğuna görə paylanması *şüalanmanın spektral sıxlığı* adlanır. Şüalanan enerji müxtəlif tezlikli dalğalar arasında bərabər paylanmır. Əgər vahid səthin vahid zamanda şüalandırdığı enerjini $W(\nu, T)$, şüalanmanın baş verdiyi tezlik intervalını $d\nu$ ilə işarə etsək, şüalandırma qabiliyyəti

$$E(\nu, T) = \frac{dW(\nu, T)}{d\nu} \quad (2.1)$$

kimi təyin olunur. Burada ν – tezlik, T – şüalandırılan cismin mütləq temperaturu, $d\nu$ isə $\nu, \nu + d\nu$ tezliklər intervalının enidir. (2.1) ifadəsindən görünür ki, şüalandırma qabiliyyətinin BS-də vahidi $\frac{C \cdot \text{san}}{m^2}$ -dir.

Hər bir cisim istənilən temperaturda nəinki elektromaqnit dalğaları şüalandırır, həmçinin şüalanan cisim eyni zamanda da şüaudma qabiliyyətinə də malikdir. 1809-cı ildə Prevo göstərməyə çalışmışdır ki, hər bir cismin şüalandırma və şüaudma qabiliyyətləri arasında müəyyən münasibət vardır. Beləliklə, Prevo təcrübələr əsasında isbat etmişdir ki, əgər müxtəlif cisimlər fərqli enerji udarsa, onların şüalandırdığı enerjilər də müxtəlif olar. Prevo bunu yalnız keyfiyyətcə müəyyən etsə də, kəmiyyətcə izah edə bilməmişdir. 1859-cu ildə Kirxhof kəmiyyətcə cismin şüalandırma və şüaudma qabiliyyətləri arasındakı əlaqəni vermişdir.

Kirxhof qanununa görə, cismin müəyyən şəraitdəki şüalanma

qabiliyyətinin həmin şəraitdəki şüaudma qabiliyyətinə nisbəti cisimlərin təbiətindən asılı olmayıb, uyğun tezlik və temperaturdan asılı olan universal funksiyadır:

$$\frac{E(\nu, T)}{A(\nu, T)} = f(\nu, T). \quad (2.2)$$

Bu funksiya ***Kirxhof funksiyası*** adlanır. Burada $E(\nu, T)$ – şüalandırma qabiliyyəti, $A(\nu, T)$ – şüaudma qabiliyyətidir. Beləliklə, mühüm cəhət ondan ibarətdir ki, müxtəlif cisimlər üçün $E(\nu, T)$ və $A(\nu, T)$ kəmiyyətləri müxtəlif olsa da, onların nisbəti bütün cisimlər üçün eynidir. Mütləq qara cisim üçün $A(\nu, T) = 1$ olduğundan $f(\nu, T)$ onun şüalandırma qabiliyyətini göstərəcəkdir. Mütləq qara cismin şüalandırma qabiliyyətini $\varepsilon(\nu, T)$ ilə işarə etsək, Kirxhof qanunu

$$\frac{E(\nu, T)}{A(\nu, T)} = \varepsilon(\nu, T) \quad (2.3)$$

şəklində də yazmaq olar. Aydındır ki, şüalanma qabiliyyəti vahiddən böyük ola bilməz. Buradan belə nəticə çıxır ki, ***eyni tezlik və temperaturda ixtiyari cismin şüalandırma qabiliyyəti mütləq qara cismin şüalandırma qabiliyyətindən böyük ola bilməz.***

§2.3. STEFAN-BOLSMAN QANUNU

Stefan-Bolsman qanunu mütləq qara cismin şüalandırma qabiliyyətinin temperaturdan asılılığını müəyyən edir. Avstriya fiziki Lüdviq Bolsman (1844-1906) termodinamika qanunlarına əsaslanaraq göstərmişdir ki, cisimlərin inteqral (bütün tezliklər üzrə cəmlənmiş) şüalandırma qabiliyyəti mütləq temperaturun dördüncü dərəcəsi ilə düz mütənasibdir.

$$E(T) = \int_0^{\infty} E(\nu, T) d\nu = A\sigma T^4. \quad (2.4)$$

Burada σ – sabit kəmiyyətdir.



J. Stefan (1835-1893)



L. Bolsman (1844-1906)

Aparılan çoxlu sayda təcrübələr nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, mütləq qara cisim üçün $A=1$ olduğundan mütləq qara cismin integral şüalandırma qabiliyyəti

$$\varepsilon(T) = \sigma T^4 \quad (2.5)$$

olar. Beləliklə, (2.5) düsturu istənilən cisim üçün deyil, yalnız mütləq qara cisim üçün doğrudur. Bolsmandan əvvəl Stefanın bu sahədəki işləri nəzərə alındığından (2.5) ifadəsi **Stefan-Bolsman düsturu** adlanır. σ – Stefan-Bolsman sabiti olub, təcrübi faktlar əsasında bu mütənasiblik əmsalı üçün

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{C}{m^2 \text{san}K^4}$$

alınmışdır. Stefan-Bolsmanın qanunu şüalanma enerjisinin temperaturdan asılılığını müəyyənləşdirir, ancaq dalğa uzunluğundan

asılılığı haqqında məlumat vermir. Halbuki, müəyyən temperatur-
lu qara cismin şüalanması dalğa uzunluğundan da asılıdır.

§2.4. KVANT ENERJİSİNİN DALĞA UZUNLUĞUNA GÖRƏ DƏYİŞMƏSİ

Mütləq qara cismin şüalanması nəzəriyyəsində növbəti addı-
mı Almaniya alimi Vilhelm Vin (1864-1928) atmışdır. Vin şüa-
lanma qabiliyyətinin tezlikdən asılılığını müəyyən etmək üçün
termodinamika və elektrodinamika qanunlarına istinad etmişdir.
Şəkil 2.3-dəki qrafikdə, qara cismin şüalanma enerjisinin tem-
peratur və dalğa uzunluğundan asılı olaraq dəyişməsi göstəril-
mişdir. Burada cismin temperaturu artdıqca diqqətə çarpan iki
nəticə ortaya çıxmaqdadır. Bunlardan birinci nəticə ondan ibarət-
dir ki, *temperatur artdıqca maksimuma uyğun gələn dalğa uzun-
luğu kiçilir*, qrafikin təpə nöqtəsi isə daha qısa dalğalara tərəf
sürüşür. Qara cismin şüalanma spektrində şüalanma
qabiliyyətinin maksimum qiymətinə uyğun gələn dalğa uzunluğu
temperatur ilə tərs mütənasibdir:

$$\lambda_{max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} smK}{T} \quad (2.6)$$

və ya mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyətinin maksimal qi-
ymətinə uyğun dalğa uzunluğu ilə mütləq temperaturunun hasili
sabit kəmiyyətdir. Bu qanun **Vin qanunu** adlanır və

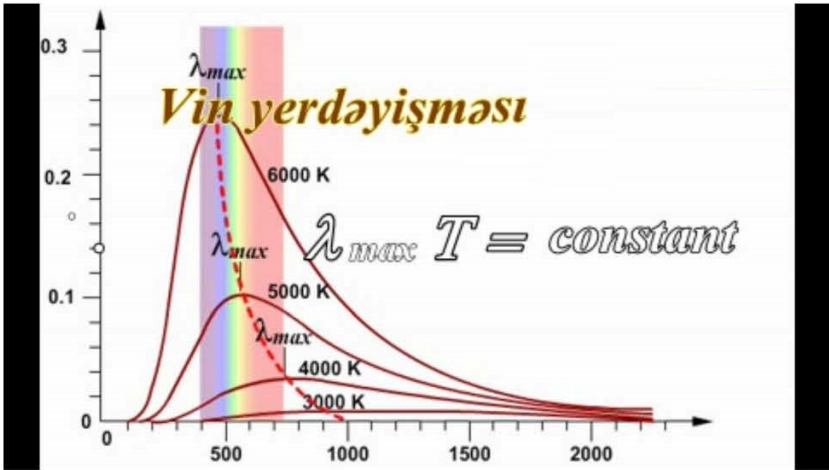
$$\lambda_{max}T = constant \quad (2.7)$$

şəklində ifadə edilir. Burada λ_{max} şüalanma spektrində maksimal
enerjiyə uyğun dalğa uzunluğudur.

İkinci nəticə isə, *temperaturun artması ilə, ümumi enerjinin artmasıdır*. Beləliklə, Vin qanununa görə, şüalanma qabiliyyətinin temperaturla bağlı olduğu isbatlanmışdır. Çox sadə görünən (2.6) ifadəsi kvant mexanikasının yaranmasına səbəb olan müşahidələrdən biridir, bu ifadənin klassik mexanika qaydaları ilə izahı mümkün deyildir. Vinə görə, mütləq qara cismin şüalandırma qabiliyyəti $\frac{\nu}{T}$ funksiyası ilə tezliyin kubu hasilinə bərabərdir:

$$\varepsilon(\nu, T) = \nu^3 F\left(\frac{\nu}{T}\right) \quad (2.8)$$

Burada F -in açıq şəkli Vinə məlum olmayan və yalnız $\left(\frac{\nu}{T}\right)$ arqumentindən asılı olan universal funksiyadır.



Şəkil 2.3. Cismin şüalanma enerjisinin temperatur və dalğa uzunluğundan asılı olaraq dəyişməsi

(2.8) funksiyasını bütün tezliklər intervalında inteqrallasaq alarıq:

$$\int_0^{\infty} \varepsilon(\nu, T) d\nu = \int_0^{\infty} \nu^3 F\left(\frac{\nu}{T}\right) d\nu = \int_0^{\infty} T^4 \frac{\nu^3}{T^3} F\left(\frac{\nu}{T}\right) d\left(\frac{\nu}{T}\right) =$$

$$= T^4 \int_0^{\infty} \left(\frac{\nu}{T}\right)^3 F\left(\frac{\nu}{T}\right) d\left(\frac{\nu}{T}\right) \quad (2.9)$$

(2.9) ifadəsinə daxil olan müəyyən inteqralın hesablanmasıdan alınan sabit ədədi σ ilə işarə etsək, Vin qanundan Stefan-Bolsman qanunu alınır:

$$\varepsilon(\nu, T) = \sigma T^4. \quad (2.10)$$

Beləliklə, Vin qanunundan alınır ki, mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyətinin maksimumuna uyğun gələn tezliyi, onun temperaturu ilə mütənasibdir. Bu, **Vinin yerdəyişmə qanunu** adlanır.

$$\frac{\nu_{max}}{T} = b \text{ və ya } \nu_{max} = bT. \quad (2.11)$$

burada $b = 0,2898 \text{ sm} \cdot K$ -Vin sabitidir.

Temperaturun yüksəlməsi ilə ν_m tezliyinin (λ_m dalğa uzunluğunun) yeri böyük tezliklər (qısa dalğalar) tərəfə sürüşür. Bu səbəbdən qızdırılan bərk cismin temperaturu yüksəldikcə rəngi qırmızıdan ağa doğru dəyişər. Vin şüalanma enerjisinin tezliklərə görə paylanması sürətlərin Maksvel paylanmasına oxşar olduğu fərziyyəsini qəbul edərək aşağıdakı düsturu təklif etmişdir:

$$\varepsilon(\nu, T) = c_1 \nu^3 e^{-c_2 \frac{\nu}{T}} \quad (2.12)$$

Bu qanun təcrübədə təsdiq olunmuşdur.

§2.5. RELEY CİNS QANUNU

Kirxhofun $f(\nu, T)$ universal funksiyasının, yəni mütləq qara cismin $\varepsilon(\nu, T)$ şüalandırma qabiliyyətinin aşkar ifadəsini tapmaq

üçün Stefan-Bolsman və Vin qanunlarından sonra göstərilən cəhd Reley-Cins qanununun müəyyən edilməsi oldu.

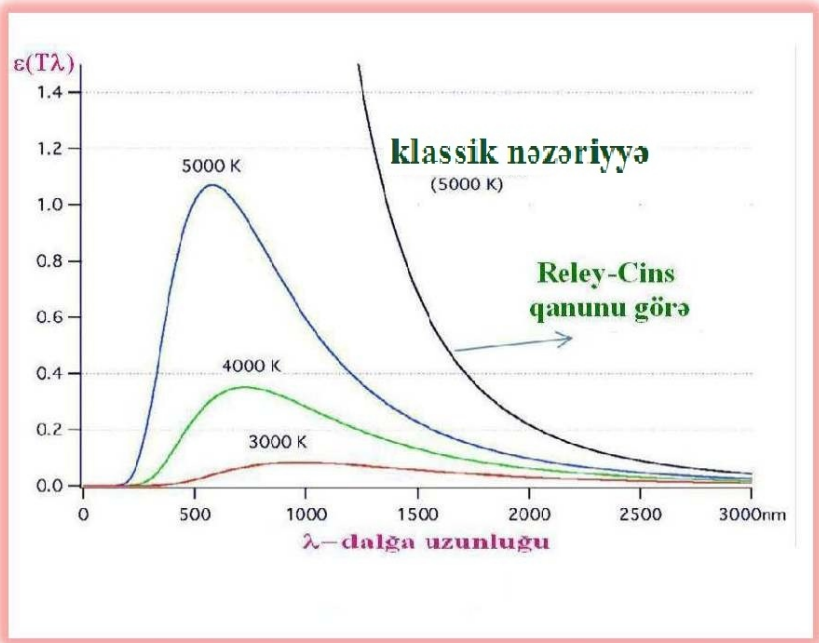
Reley və Cins müəyyən dalğa uzunluqlu cismin nə qədər enerji şüalandırdığını statistik metodlardan istifadə edərək təyin etməyə çalışmışdır. Onlar divarının temperaturu sabit qalan içi boş, qapalı qab daxilindəki tarazlıqda olan şüalanmaya baxmışlar. Reley və Cins elektromaqnit şüalanmasını mümkün olan bütün istiqamətlərdə yayıla bilən müxtəlif tezlikli durğun dalğalar sistemi kimi təsəvvür etdilər. Statistik fizikanın əsasını təşkil edən enerjinin sərbəstlik dərəcəsinə görə bərabər paylanması teoreminə əsasən, sistemin hər bir sərbəstlik dərəcəsinə $kT/2$ qədər enerji düşür ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{C/K}$ –Bolsman sabiti, T – mütəlak temperaturdur). Onda birölçülü harmonik ossilyatorun orta enerjisi, kinetik və potensial enerjilərin cəminə bərabər, yəni $kT/2 + kT/2 = kT$ olar və hər bir elektromaqnit dalğasına da orta hesabla kT qədər enerji düşür ki, bunun da $kT/2$ qədəri elektrik, $kT/2$ qədəri isə maqnit rəqsinə aiddir.

Elektromaqnit dalğaları keçirməyən və daxili səthi qaytarıcı (güzgü) olan qapalı bir həcmdə yerləşən müəyyən temperaturlu cismin şüalandırdığı elektromaqnit dalğaları səthin daxili divarlarından qayıdaraq yenidən həmin cismin üzərinə düşəcək, müəyyən zamandan sonra vahid zamanda cismin şüalandırdığı və udduğu enerjinin miqdarı bərabər olacaqdır, yəni cismlə şüalanma arasında dinamik tarazlıq yaranacaqdır. Tarazlıqlı şüalanma bərk cisim, maye və qazlarda yaranı bilər. Tarazlıq halında bu dalğalar enerjinin verilməmiş həcmdə paylanmasını ifadə edir.

Bu həcmdə yaranan durğun dalğaların uzunluğu və tezliyi boşluğun ölçüləri ilə təyin olunur. Reley göstərmişdir ki, hər bir tezlik özünəməxsus sərbəstlik dərəcəsinə malikdir və o, vahid həcmə və vahid tezlik intervalına düşən şüalanma enerjisinin tezliyini kvadratı ilə mütənəsb olduğunu müəyyən etmişdir:

$$\rho(\nu, T) = \frac{1}{V} \frac{W}{d\nu} \approx \nu^2 \bar{\epsilon}. \quad (2.13)$$

Burada $\bar{\varepsilon} = kT$ olub, bir sərbəstlik dərəcəsinə düşən elektromaqnit enerjisidir.



Şəkil 2.4. Spektral şüalanma qabiliyyətinin dalğa uzunluğundan asılılığı (nəzəri və təcrübi əyrilər)

Reley və Cins mütənəsiblik əmsalını dəqiqləşdirərək mütləq qara cismin şüaburaxma qabiliyyəti üçün aşağıdakı ifadəni almışdılar:

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \bar{\varepsilon} \quad \text{və ya} \quad \varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT \quad (2.14)$$

Bu qanun tezliyin kiçik qiymətlərində təcrübi əyriləri düzgün ifadə edir. Tezliyin böyük qiymətlərində isə doğru olmur. Bu

düstur vasitəsilə tam (inteqral) şüalanma enerjisini hesabladıqda sonsuz böyük qiymət alınır:

$$\varepsilon(T) = \int_0^{\infty} \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT d\nu = \frac{2\pi kT}{c^2} \int_0^{\infty} \nu^2 d\nu = \infty \quad (2.15)$$

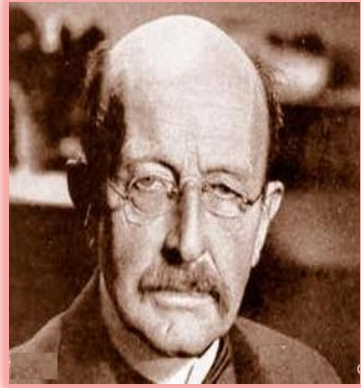
Bu isə, mümkün deyil. Deməli, Reley-Cins qanunu da mütləq qara cismin şüalanmasını tam izah edə bilmir. Bundan başqa, Reley-Cins düsturuna əsasən, şüalanma enerjisinin inteqral sıxlığını tapmaq, yəni Stefan-Bolsman qanununu almaq üçün sonsuz böyük qiymət alınır. Buradan belə çıxır ki, elektromaqnit şüalanması onun mənbəyi olan cisimlə tarazlıqda ola bilməz. Başqa sözlə, belə tarazlıq yalnız mütləq sıfır temperaturda yarana bilər. Bu isə təcrübi faktlara ziddir. Həqiqətən də, təcrübə göstərir ki, tarazlıq istənilən temperaturda yarana bilər. (2.15) inteqralının sonsuzluğa bərabər olması digər tərəfdən o deməkdir ki, istilik şüalanması enerjisinin əsas hissəsi böyük tezliklərə (görünən intervalın ultrabənövşəyi hissəsindəki) uyğun gəlir. Təcrübə ilə nəzəriyyə arasındakı bu uyğunsuzluğu kvant nəzəriyyəsinin banilərindən biri olan P.S.Erenfest *“ultrabənövşəyi fəlakət”* adlandırmışdır.

Reley-Cins düsturu şüalanma nəzəriyyəsinin inkişafında böyük rol oynamışdır. O, klassik fizikanın prinsipal çətinliklərini bütün aydınlıqla aşkara çıxarmışdır. Beləliklə, istilik şüalanmasını izah edərkən klassik fizika müvəffəqiyyətsizliyə uğradı.

§2.6. PLANK DÜSTURU

Nəzəriyyə ilə təcrübə arasında yuxarıda göstərilən ziddiyyədən çıxış yolunu axtaran alman fiziki Maks Plank (1900 - cu il) yeni fərziyyə irəli sürdü. O, qara cismin şüalanmasında ortaya çıxan nəticələri araşdırmış və işığı,

klassik yanaşmaların ziddinə olaraq dalğa şəklində deyil, kvantlardan ibarət zərrəciklər kimi düşünmüşdür. *Planka görə, şüalanmanın maddə tərəfindən buraxılması arasıksilmədən deyil, hər bir hissəsinin enerjisi $h\nu$ olan enerji paketləri halında, yəni diskret enerji porsiyaları və ya kvantları şəklində baş verir.* Deməli, şüalanan sistemin – ossilyatorun enerjisi (ossilyator dedikdə harmonik rəqs edən yüklü zərrəcik (məsələn, elektron) başa düşülür) yalnız müəyyən seçilmiş hallarda ola bilər və bu hallarda onların enerjisi ən kiçik enerji miqdarının tam misillərinə bərabərdir:



Maks Plank 1858-1947

$$\varepsilon(\nu) = n\varepsilon(\nu_0) \quad n=1,2,3.. \quad (2.16)$$

Burada $\varepsilon(\nu_0)$ – elementar porsiyanın – kvantın enerjisidir:

$$\varepsilon(\nu_0) = h\nu = \frac{hc}{\lambda_0} \quad (2.17)$$

Burada $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$ olub Plank sabiti adlanır. Şüalanma və yaxud şüaudma zamanı ossilyatorlar bu hallardan birindən digərinə sıçrayışla keçirlər. Bu hipotez əsasında Plank

Bolsman paylanmasıdan istifadə edərək ossilyatorun şüalanma enerjisinin orta qiyməti üçün

$$\bar{\varepsilon} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}. \quad (2.18)$$

ifadəsini almış və mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyətinin tezlikdən və temperaturdan asılılığını aşağıdakı kimi tapmışdır:

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}. \quad (2.19)$$

Mütləq qara cismin şüalandırma qabiliyyətini, bütün tezlik və temperaturlarda müəyyən edən (2.19) ifadəsi **Plank düsturu** adlanır. Bu düstur təcrübə ilə tam uyğunlaşır. Beləliklə, Plank ilk dəfə fizika elminə kvant anlayışını daxil etməklə mütləq qara cismin istilik şüalanmasını izah etdi və bununla da kvant fizikasının təməlini qoydu.

Laboratoriya işi 3

STEFAN-BOLSMAN SABİTİNİN TƏYİNİ

İşin məqsədi: σ – Stefan Bolsman sabitinin təyini.

Cihaz və ləvazimatlar: Temperatur göstəriciləri, metal yarım sfera, təxminən qara cisim kimi istifadə oluna bilən mis disk, su.

İşin nəzəriyyəsi:

Qara cismin şüalandırma qabiliyyətinin temperaturdan asılılığı Stefan-Bolsman qanunu olaraq tanınır.

$$\varepsilon(\nu, T) = \sigma T^4 \quad (2.20)$$

Burada $\sigma = 5,672 \cdot 10^{-12} \frac{Vt}{sm^2}$ olub, **Stefan-Bolsman sabiti** adlanır.

Qara cismin şüalanmasını öyrənilməsinin təcrübi sxemi şəkil 2.5-də verilmişdir.

Su (4) qızdırıcısı vasitəsi ilə qızdırılır və (3) boruları ilə (2) yarımşferaya daxil olur. Bu isti su enerji şüalandırır və (1) mütləq qara cisim tərəfindən udulur. Bu prosesdə mis disk təxminən qara cisim kimi istifadə olunur. Burada qara cisim, yəni metal disk metal yarımşferasından şüa udur.

T_d və T_Y – uyğun olaraq metal yarımşferanın və mis diskin tarazlıq haldakı temperaturlarıdır. (2.20) tənliyinə uyğun olaraq, şüalanma enerjisi hər saniyədə mis diskə ötürülür.

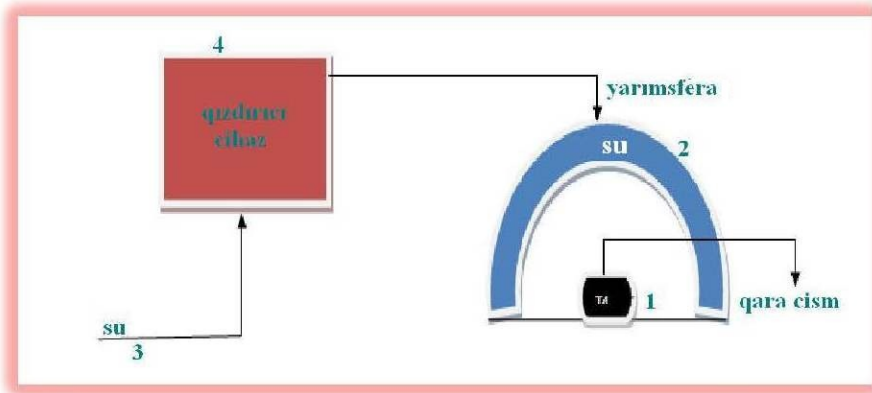
Müəyyən edilmişdir ki, termodinamikanın qanunlarına görə, vahid zamanda mütləq qara cismə ötürülən enerji aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \sigma S(T_s^4 - T_d^4) \quad (2.19)$$

Burada S mis diskin sahəsidir və

$$\Delta Q = (Q_s - Q_d) . \quad (2.20)$$

Burada Q_s və Q_d – yarımşferanın şüalandırdığı və mis diskin udduğu enerjilərdir.



Şəkil 2.5 Qara cismin şüalanmasını öyrənilməsinin təcrübi sxemi

İndi biz istilik köçürməsi üçün termodinamikanın başqa tənliyinə müraciət edək:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc_p \frac{dT}{dt} \quad (2.21)$$

Burada m – diskin kütləsi, c_p – misin xüsusi istilik tutumu, $\frac{dT}{dt}$ – vahid zamanda temperaturun dəyişməsidir.

(2.20) və (2.21) tənliklərindən alınır:

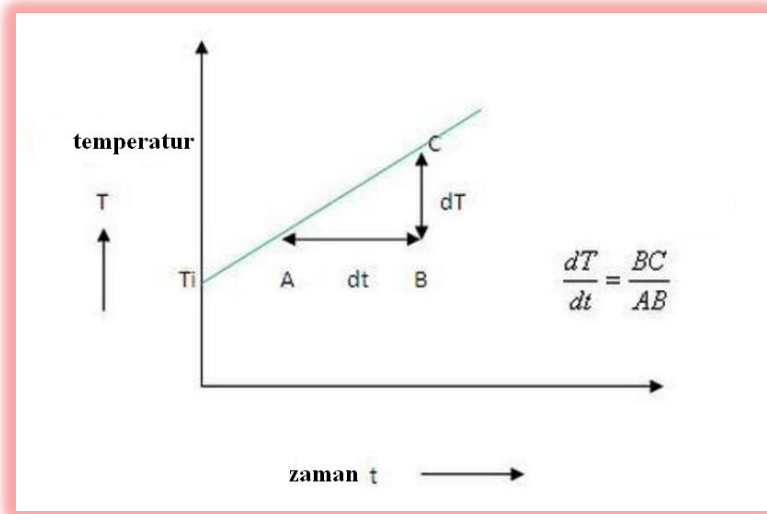
$$\sigma A(T_s^4 - T_d^4) = mc_p \frac{dT}{dt} \quad (2.22)$$

Beləliklə, Stefan –Bolsman sabitini təyin etmək üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\sigma = \frac{mc_p}{s(T_s^4 - T_d^4)} \frac{dT}{dt} \quad (2.23)$$

VIRTUAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

1. Suyun temperaturunu, ətraf mühitin temperaturunu, diskin kütlə və radiusunu sürüngəc vasitəsi ilə seçin.
2. "Power ON" düyməsini aktivləşdirin və T_1 , T_2 və T_3 temperaturlarının tarazlıq hala çatmasına qədər gözləyin, sonda alınan hər bir temperaturun qiymətini qeyd edin.
3. T_4 düyməsi üzərinə qoyaraq, "Fit the disc" seçin.
4. Tarazlıq halına çatana qədər T_4 -ün müxtəlif zaman intervallarında qiymətini qeyd edin.
5. Temperaturun zamandan asılılıq qrafikini qurun.



Şəkil 2.6. Temperaturun zamandan asılılıq qrafiki

6. Qrafikdən görüldüyü kimi, x oxu boyunca zaman, y oxu boyunca isə temperatur işarələnmişdir. Buradan dT/dt ayrılıyını təyin edin.

7. (2.23) düsturdan istifadə edərək Stefan-Bolsman sabiti σ -ni tapın.

Nəticələr:

Mis diskin kütləsi: = kg

Misin xüsusi istilik tutumu = $C/(K \cdot kq)$

Disk radiusu = m

Disk sahəsi = m^2

Qrafikin ayrılığı $\frac{dT}{dt} = \dots\dots Ksan^{-1}$

Verilmiş ifadədə qiymətini yerinə qoymalı:

$$\sigma = \frac{mc_P \frac{dT}{dt}}{s(T_Y^4 - T_d^4)}$$

Müşahidələr:

Təcürbənin sayı	Yarımkürənin temperaturu T_1, T_2, T_3	Temperaturun orta qiyməti $T_y = (T_1 + T_2 + T_3) / 3$	Diskin temperaturu T_d (Kelvin)	zaman T (sən)	diskin temperaturunun tarazlıq halı T_d
1.					
2.					
3.					

Variables

Water Temperature 50°C

Surrounding Temperature 28°C

Mass of Disc 7g

Radius of Disc 2cm

Reset

Fit the Disc

cross-sectional view

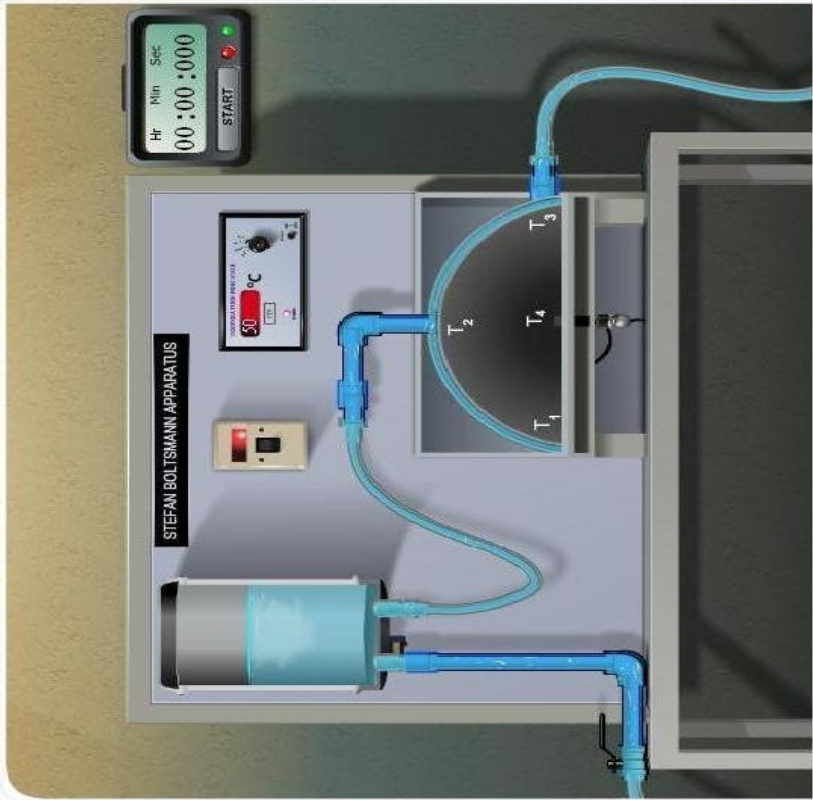
Measurements

Select temperature probe

T1 T2

T3 T4

T1: 50°C



<http://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=194&sim=548&cnt=4>

REAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

Məlumdur ki, S_1 səthinə malik olan qızdırıcının $d\Omega$ cisim bucağı daxilində yayıldığı Q istilik miqdarı

$$Q = BS_1 d\Omega \quad (2.24)$$

olar. Burada B şüalanmanın səthi parlaqlığıdır. $d\Omega$ cisim bucağı daxilində yayılan $d\Phi$ işıq seli aşağıdakı kimi olar:

$$d\Phi = Bd\Omega\Delta S \cos\theta \quad (2.25)$$

Ümumi halda səth parlaqlığı θ və φ bucağından asılıdır:

$$d\Phi = Bd\Omega\Delta S \cos\theta d\theta d\varphi. \quad (2.26)$$

Energetik işıqlanmanın inteqral şüaburaxma qabiliyyətinin ifadəsi $\frac{d\Phi}{\Delta S} = \varepsilon$ ilə təyin olunduğundan,

$$\varepsilon = B \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} \sin\theta \cos\theta d\theta = \pi B. \quad (2.27)$$

(2.27) düsturuna əsasən, $B = \frac{E}{4\pi} = \frac{\sigma}{4\pi} T^4$ və nəzərə alsaq ki, $d\Omega = \frac{S_2}{l^2}$, burada S_2 – termoelementin səthinin sahəsidir, l – termoelementlə istilik mənbəyi arasındakı məsafədir, onda

$$Q = \frac{S_1 S_2}{4\pi l^2} \sigma T^4 \quad (2.28)$$

alırıq.

Beləliklə, real laboratoriya işi aşağıdakı ardıcılıqla aparılır:

1. Termoelementin yarığı yerləşdirmək qoymaq lazımdır ki, istilik sobasının yarığı ilə üst-üstə düşsün. Bu zaman şüalan-dırıcı ilə termoelement arasındakı məsafə $l = (0,045 -$

$0,050)m$, şüalandırıcının səthinin sahəsi $S_1 = \frac{\pi \cdot (0,01)^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} m^2$, termoelementin səthinin sahəsi $S_1 = \frac{\pi \cdot (0,01)^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} m^2$ götürülür.

2. Elektrik naqillərini şəbəkəyə qoşmalı və ölçü qurğusunun arxa panelində yerləşən elektrik açarı vasitəsi ilə cihaz işçi vəziyyətinə gətirilir. Cihazın qızması üçün bu vəziyyətdə 5 dəqiqə gözləmək lazımdır (bu zaman temperaturu və gərginliyi ölçən indikatorlar uyğun olaraq 0,00 və 0,00 qiymətlərini göstərməlidir). Təcrübənin prinsipial sxemi şəkil (7) və (8) -də verilmişdir.
3. “Скорость нагрева” dəstəyini “MİN” vəziyyətinə keçirməklə “Сеть” açarı vasitəsi ilə sobanı qoşmalı. Cihazın korpusunun qızmasının qarşısını almaq üçün, “BENT” açarı vasitəsi ilə soyuducu ventilyatorunu işə salmalı. “Скорость нагрева” dəstəyini fırlatmaqla “MİN” və “MAX” vəziyyətləri arasında saxlamalı.
4. Sobanı tədricən qızdırmaqla, gərginliyin temperaturdan asılılığını qeyd edin. Qeydiyyatı o zaman götürmək lazımdır ki, gərginliyin temperaturdan asılılığı yavaş sürətlə baş versin. Əgər bu dəyişmə çox sürətlidirsə, sobanın yuxarisında olan dəstək vasitəsilə sürəti azaldın. Əlverişli qeydiyyat o zaman aparılır ki, müəyyən qısa müddətdə indikatorun göstərişləri sabit qalsın.
“Скорость нагрева” dəstəyini elə vəziyyətdə saxlayın ki, sobanın qızma sürəti yavaş olsun. t temperaturu nisbətən sabit qaldıqda (cihazın sağ tərəfi) termoelementə qoşulmuş (mV) millivoltmetrin (sol tərəfi) göstərişini qeyd edin. Təcrübəni $t=1000^{\circ}C$ -yə kimi davam etdirin.
5. Maksimal temperaturda təcrübəni apardıqdan sonra dəstəyi “MİN” vəziyyətinə gətirin. Ön paneldə olan “Сеть” açarını söndürün. Bu zaman ventilyator işləyərək sobanı soyudur

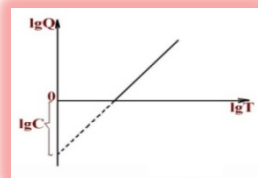
(təcrübəni soyutma müddətində aparmaq düzgün deyil. Belə ki, termoelementin göstərişləri yanlış olur).

6. İşləyib qurtardıqdan sonra soba soyudulmalı, sonra arxa paneldəki “Сеть” açarını söndürməli və naqilləri şəbəkədən ayrılmalı.
7. Nəticələri cədvəl şəklində qeyd edin.

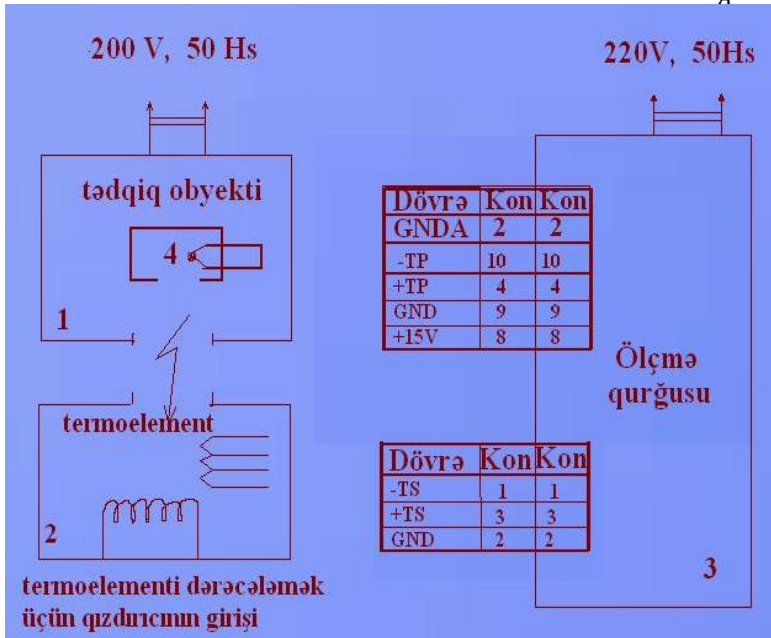
Cədvəl 1

$t^{\circ}C$	T, K	$lg T$	$U (mV)$	$Q=W$ (Vatt)	lgQ	
30	303		0,01			$Q = W =$ $= \frac{S_1 S_2}{4\pi l^2} \sigma T^4$ $A = \frac{S_1 S_2}{4\pi l^2}$ $Q = A \sigma T^4$ $Q = CT^4$ $lg Q =$ $= lg C + 4 lg T$
35	308					
40	313					
45	318					
50	323					
55	328					
60	333					
65	338					
70	343					
75	348					
80	353					
85	358					
90	363					
95	368					
100	373					

8. Termoelementin millivoltmetrinin göstərişinə uyğun olaraq, $Q=W$ istilik miqdarını cədvəl 1-dən və aşağıda göstərilən qrafikdən istifadə edərək təyin edin.
9. lgQ -nu lgT -dən asılılıq qrafikini qurub, düz xəttin



ekstrapolyasiyası C əmsalını verir, bu da, öz növbəsində σ Stefan-Bolsman sabitini təyin etməyə imkan verir: $\sigma = \frac{C}{A}$



Şəkil 2.7. 1 – Tədqiq obyektı; 2 – Termoelement; 3. – Ölçmə qurğusu; 4 – Termocüt

LABORATORİYA İŞİ 4

PLANK DÜSTURUNUN YOXLANILMASI

İşin məqsədi: Plank düsturundan alınan nəticələrin müzakirəsi.

Cihaz və ləvazimatlar: Temperatur göstəriciləri və müxtəlif tezlikli dalğalar.



Mənbə: Plank düsturunun yoxlanılması

<https://sdu.edu.az/az/physics>

https://www.youtube.com/channel/UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw

[UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw](https://www.youtube.com/channel/UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw)

İşin nəzəriyyəsi:

Mütləq qara cismin şüalanmasının spektral sıxlığı üçün iki düstur Vin və Reley-Cins düsturu mövcud idi. Onlardan heç biri təcrübi əyriyə bütövlükdə izah edə bilmirdi. Reley-Cins düsturu spektrin yalnız böyük dalğa uzunluqları (kiçik tezliklər) intervalında, Vin düsturu isə kiçik dalğa uzunluqları (böyük tezliklər) intervalında təcrübi əyriyə təsvir edirdi. Deməli, təcrübi yolla qurulmuş paylanma əyrisini klassik fizika baxımından nəzəri olaraq bütövlükdə təsvir etmək mümkün olmur. Başqa sözlə, klassik fizika çərçivəsində Kirxhof funksiyasının istənilən tezlik və temperaturda aşkar ifadəsini müəyyən etmək mümkün olmamışdır.

XX əsrin dahi alimlərindən biri olan Alman fiziki Maks Plank (1858-1947) göstərmişdir ki, qarşıya çıxan uğursuzluq klassik fizika qanunlarının məhdudluğu ilə əlaqədardır. O, istənilən tezlik

və temperaturda təcrübi əyrini tam təsvir edə bilən (mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyəti üçün) yarıempirik düstur vermişdir.

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{kT}-1} \quad (2.29)$$

Plank düsturunun limit hallarından (2.29) düsturunun xüsusi hal kimi Reley-Cins, Vin və Stefan-Bolsman qanunları alınır.

Reley-Cins qanununun alınması. Tezliyin kiçik qiymətlərində $\frac{h\nu}{kT}$ –vahiddən çox-çox kiçikdir və üstlü funksiyanı sıraya ayıraraq yalnız birinci hədlə kifayətlənsək:

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 = 1 - \frac{h\nu}{kT} - 1 = \frac{h\nu}{kT}. \quad (2.30)$$

Bu halda (2.29) düsturu

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT \quad (2.31)$$

şəklinə düşür və bu bildiyimiz kimi, Reley- Cins qanunudur.

Stefan-Bolsman düsturunun alınması. Plank qanunundan istifadə edərək mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyətini hesablamaq üçün (2.29) düsturunu bütün tezliklər intervalında inteqrallayaq.

Onda

$$\varepsilon(T) = \int_0^\infty \varepsilon(\nu, T) d\nu = \frac{2\pi h}{c^2} \int_0^\infty \frac{\nu^3 d\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (2.32)$$

olar. (2.32) tənliyini sadələşdirək:

$$\varepsilon(T) = \frac{2\pi k^4}{c^2 h^3} T^4 \int_0^\infty \frac{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^3 d\left(\frac{h\nu}{kT}\right)}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (2.33)$$

(2.33) tənliyində $\frac{h\nu}{kT}$ -ni x -ilə əvəzləmə apararaq tənliyi həll etsək

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi}{15} \quad (2.34)$$

alarıq. (2.34)-ü (2.33) -də nəzərə alsaq,

$$\varepsilon(T) = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 \quad (2.35)$$

və (2.35) ifadəsinə daxil olan sabitləri $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}$ -ilə işarə etsək, şüalanma qabiliyyəti üçün

$$\varepsilon(T) = \sigma T^4 \quad (2.36)$$

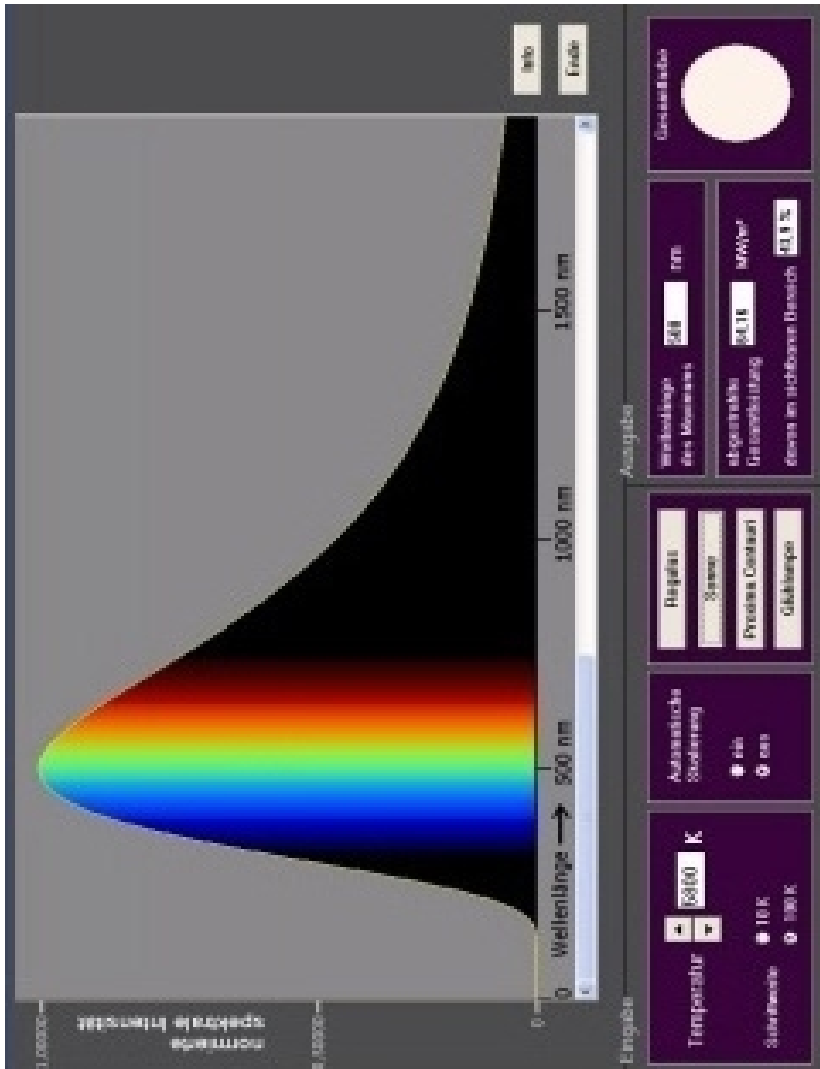
alınar. Bu isə **Stefan-Bolsman qanunudur.**

Vin düsturunun alınması. Böyük tezliklərdə və kiçik temperaturlarda $h\nu \gg kT$ olduğundan Plank düsturu

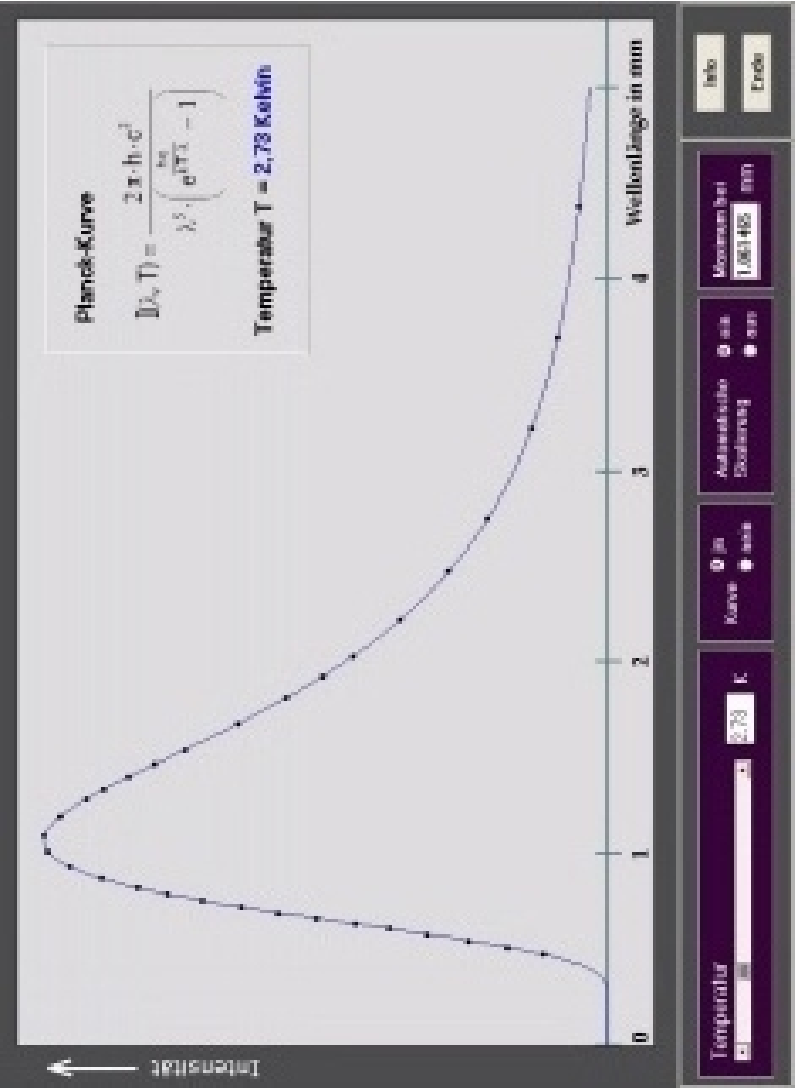
$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

olar. Bu isə, gördüyümüz kimi, Vinin şüalanma enerjisinin tezliklərə görə paylanmasının sürətlərin Maksvel paylanmasına oxşar olduğunu fərz edərək təklif etdiyi $\varepsilon(\nu, T) = c_1 \nu^3 e^{-c_2 \frac{\nu}{T}}$ düsturunun –Vin qanununun açıq şəkildə ifadəsidir. Beləliklə, Plank qanunundan xüsusi hal kimi Vin qanunu alınır.

Yuxarıda baxılan qanunlara temperatur daxildir. Deməli, cismlərin şüaburaxma qabiliyyətini və inteqral şüalanmasını öyrənərək onların temperaturunu təyin etmək olar. Cisimlərin şüaburaxma qabiliyyətinin onların temperaturundan asılılığına əsaslanaraq temperaturun ölçülməsi üsulu optik pirometriya adlanır.



<https://edu.az/az/physics> Plank düsturunun yoxlanılması



VIRTUAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI

- 1.** Qara cismin spektrində şüalanma qabiliyyətinin maksimum qiymətinə uyğun gələn dalğa uzunluğunun temperatur ilə tərs mütənasib (Vinin yerdəyişmə qaydasının) olduğunu göstərin. Vinin yerdəyişmə qaydasına əsaslanaraq “b” sabitinin qiymətini təyin edin.
- 2.** Böyük temperaturlarda və kiçik tezliklərdə alınan qrafikin (Reley-Cins qanunu) Plank düsturundan alınmasını göstərin və izah edin.
- 3.** Kiçik temperaturlarda böyük tezliklərdə alınan qrafiki (Vin qanunu) qurun və izah edin.
- 4.** Şüalanma qabiliyyətini və temperaturu təyin edərək Stefan-Bolsman sabitini təyin edin.

Mövzuya aid testlər

1. Kirxhov qanununa görə, şüalanmanın spektral sıxlığı nədən asılıdır?
 - A. cismin sıxlığından
 - B. cismin təbiətindən
 - C. götürülən cismin formasından
 - D. şüalanmanın tezlik və temperaturundan
2. İstənilən temperaturda üzərinə düşən istənilən tezlikli dalğanı tam olaraq udma qabiliyyətinə malik olan cisim necə adlanır?
 - A. göy rəngli cisim
 - B. boz cisim
 - C. mütləq qara cisim
 - D. ağ rəngli cisim
3. Vinin yerdəyişmə qanununda ($\lambda_{max} \cdot T = const$) λ_{max} nədir?
 - A. Spekrtdə maksimal enerjiyə uyğun dalğa uzunluğu
 - B. Dalğa uzunluğunun maksimal qiyməti
 - C. Spekrtdə temperaturun maksimal qiymətinə uyğun dalğa uzunluğu
 - D. Spekrtdə sıfırıncı enerjiyə uyğun dalğa uzunluğu
4. Stefan-Bolsman qanunu şüalanma enerjisinin
 - A. dalğa uzunluğundan asılılığını müəyyənləşdirir.
 - B. temperaturdan asılılığını müəyyənləşdirir
 - C. həm temperaturdan, həm də dalğa uzunluğundan asılılığını müəyyənləşdirir.

D. tezlikdən asılılığını müəyyənləşdirir.

5. Mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyəti nədən asılıdır?

- A. cismin səthinin sahəsindən
- B. şüalanmanın tezliyindən
- C. şüalanmanın müddətindən
- D. cismin temperaturundan

6. Hansı düstur Vinin yerdəyişmə qaydasını ifadə edir?

- A. $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$
- B. $\lambda_{max} = bT$
- C. $\lambda_{max} = \frac{T}{b}$
- D. $\lambda_{max} = \left(\frac{b}{T}\right)^{1/2}$

7. Hansı temperaturda mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyətinin dalğa uzunluğundan asılılıq əyrisinin maksimumu 760nm dalğa uzunluğunda yerləşər? $b = 2,888 \cdot 10^3 m \cdot K$ götürün.

- A. 3800K B. 7630K C. 2800K D.1600K

8. Mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyətinin dalğa uzunluğundan asılılıq enerjisinin maksimumu 17°C –də hansı dalğa uzunluğunda yerləşir? $b = 2,888 \cdot 10^3 m \cdot K$ götürün.

- A. 2,99 mm B. 2,9 mkm C. 10 mkm D. 1 mkm

9. Mütləq qara cismin 2000°K temperaturda spektrin maksimal uzunluğu neçə mikrometrə bərabərdir?

- A. 2,405mkm B.1,80mkm C.1,443mkm D. 0,962mkm.

10. Mütləq qara cismin temperaturunu necə dəyişmək lazım-

dır ki, onun şüalanma qabiliyyəti 81 dəfə artsın?

- A. 3 dəfə artırmaq
- B. 3 dəfə azaltmaq
- C. 9 dəfə artırmaq
- D. 9 dəfə azaltmaq.

11. Cisimlərdən hansında ən az dalğa uzunluğu maksimum şüalanmaya uyğundur?

- A. Əridilmiş metalda (yüksək temperaturda əriyən)
- B. Qızdırılmış ütünün səthində
- C. Okeanın səthində
- D. İnsan bədəninin səthində.

12. Eyni tezlik və temperaturda ixtiyari cismin şüalanma qabiliyyəti

- A. qara cismin şüalanma qabiliyyətindən kiçik ola bilməz.
- B. qara cismin şüalanma qabiliyyəti ilə bərabər olmalıdır.
- C. qara cismin şüalanma qabiliyyətindən asılı deyildir.
- D. qara cismin şüalanma qabiliyyətindən böyük ola bilməz.

13. Mütləq qara cismin spektrində maksimum şüalanma qabiliyyəti olan, dalğa uzunluğu, temperaturun yüksəlməsi zamanı

- A. T-dən asılı olaraq xətti artır.
- B. temperaturdan asılı deyil.
- C. temperaturdan mürəkkəb asılılığa malikdir.
- D. $1/T$ kimi dəyişir.

14. Aşağıdakı şüalanmalardan hansı tarazlıq şüalanmasıdır?
1-istilik 2-lüminessensiya 3-Çerenkov şüalanması

- A. 1
- B. 3, 2
- C. 3, 1
- D. 2, 1

15. Reley-Cins qanunu hansı halda ödənilir?

- A. kiçik tezliklər, yuxarı temperaturalarda
- B. böyük tezliklər, aşağı temperaturalarda
- C. bütün tezliklərdə
- D. aşağı temperaturu bütün tezliklərdə.

16. Vin qanunu

- A. çox böyük tezliklərdə təcrübi faktlarla uyğunlaşır.
- B. çox kiçik tezliklərdə təcrübi faktlarla uyğunlaşır.
- C. həm böyük, həm də kiçik tezliklərdə təcrübi faktlarla uyğunlaşır.
- D. həm böyük, həm də kiçik tezliklərdə təcrübi faktlarla uyğunlaşmır.

17. İstilik şüalanması hansı spektrə malikdir?

- A. xətti
- B. zolaqlı
- C. bütöv
- D. xətti və zolaqlı.

18. Maddənin qızdırılması nəticəsində şüalanma necə adlanır?

- A. istilik şüalanması
- B. lüminessensiya
- C. qamma şüalanma
- D. rentgen şüalanması

19. Aşağıda verilmiş fikirlərdən hansı atomun şüalanma və şüa udma qabiliyyətini düzgün təsvir edir?

- A. atom istənilən tezlikli fotonu şüalandıra və uda bilər
- B. atom istənilən tezlikli fotonu uda bilər
- C. atom yalnız tezliyi müəyyən qiymətə malik olan fotonu uda, istənilən tezlikli fotonu şüalandıra bilər
- D. atom yalnız tezliyi müəyyən qiymətə malik olan fotonu şüalandıra və uda bilər.

20. Müəyyən şəraitdə cisimlərin şüalanma qabiliyyətinin şüaudma qabliyyətinə nisbəti nədən asılıdır?
- A. Cisimlərin təbiətindən
 - B. Cisimlərin təbiəti və tezlikdən
 - C. Cisimlərin təbiətindən və temperaturundan
 - D. Yalnız tezlik və temperaturdan.
21. Parlaq qırmızı Arktur ulduzu üçün səthi şüalanmanın spektral sıxlığının maksimumu 580nm dalğa uzunluğunda yerləşir. Ulduzu mütləq qara cisim kimi qəbul edərək onun səthinin temperaturunu hesablayın. $b = 2,888 \cdot 10^3 m \cdot K$ götürün.
- A. 2000 K B. 2900 K C. 5000 K D, 6000 K
22. Radiasiya temperaturu hansı istilik şüalanması qanununa əsasən təyin edilir?
- A. Stefan-Bolsman qanununa
 - B. Plank düsturuna
 - C. Kirxhof qanununa
 - D. Reley-Cins qanununa

TESTİN DÜZGÜN CAVABLARI

1.D 2.C 3.A 4.B 5.D 6.A 7.A 8.C 9.C 10.A 11. A 12.D
13.D 14.A 15. A 16.A 17.C 18.A 19.D 20.D 21.C 22. A

Yoxlama sualları

1. İstilik şüalanması nəyə deyilir və nə üçün klassik mexanika qanunlarını tarazlıqdakı istilik şüalanması proseslərinə tətbiq etmək olmur?
2. Mütləq qara cisim nədir?
3. Praktikada mütləq qara cismin modelini necə qurmaq olar?
4. Ultrabənövşəyi fəlakət hadisəsi nədir?
5. Plankın hipotezi nədən ibarətdir və hansı mülahizələrə əsaslanmışdır?
6. Vin yerdəyişmə qaydasını tezliklə ifadə edin.
7. Səthində temperatur $7500K$ olan ulduzun spektrində şüalanma intensivliyinin maksimumuna uyğun dalğa uzunluğu neçə mikrometrdir?
8. Plank sabitinin ədədi qiymətini, ölçülərini və nəyi xarakterizə etdiyini aydınlaşdırın.

*“Dəlilik: eyni şeyi təkrar təkrar edib,
fərqli sonuclar gözləməkdir.”*

Albert Eynşteyn

III FƏSİL

İŞIĞIN KVANT NƏZƏRİYYƏSİ VƏ FOTOEFFEKT



Mənbə:<https://fotoeffekt>

<https://sdu.edu.az/az/physics>

https://www.youtube.com/channel/UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw

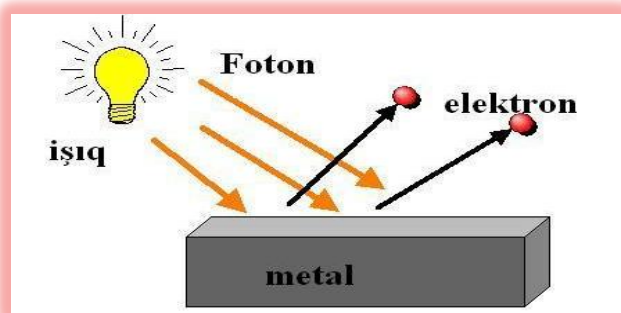
[UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw](https://www.youtube.com/channel/UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw)

§3.1. FOTOEFFEKT

İşığın korpuskulyar xassəyə malik olduğunu göstərən hadisələrdən biri, işığın təsiri ilə elektronların maddədən qoparılması – fotoeffekt hadisəsidir.

Elektromaqnit şüasının (ışığın) təsiri ilə maddədən elektronların qopması hadisəsinə *"fotoelektrik effekti"* və ya *"fotoeffekt"* hadisəsi deyilir. İşığın təsiri ilə katoddan elektronlar qoparılır, həmin elektronlar *fotoelektronlar*, onların yaratdığı cərəyan isə *fotocərəyan* adlanır. Bu hadisəni klassik fizika izah edə bilməmişdir. Klassik fizikaya görə, işıq dalğa şəklində yayılır. Lakin müasir fizikaya görə, işıq hər birinin enerjisi $E=h\nu$ olan fotonlar selindən ibarətdir. İlk dəfə 1887-ci ildə Henrix Hers gərginlik altında olan elektrodları ultrabənövşəyi işıqla işıqlandırdıqda boşalmanın asanlaşdığını təyin etmişdir. O, elektrik boşalması zamanı iki sink kürədən birini (katodu) ultrabənövşəyi şüalarla işıqlandırarkən, onlar arasında qığılcımın keçməsinin xeyli asanlaş-

dığını göstərmişdir. Qılgılcım boşalmasının yaradılması zamanı, mənfi elektrodu ultrabənövşəyi şüalarla işıqlandırdıqda boşalmanın daha kiçik gərginlikdə baş verdiyini müşahidə etmişdir, lakin işığın dalğa təbiətli yox, məhz korpuskulyar təbiətli olması izah edilən bu kəşf onu maraqlandırmamışdır. Fotoeffekt hadisəsi ilə tarixə düşmüş bu hadisəni 1888-ci ildə Alman alimi Vilhelm Qalvaks müəyyən etmişdir və o, göstərmişdir ki, Hersin müşahidə etdiyi hadisə işığın təsiri ilə qopan yüklərin elektrik sahəsində sürətlənərək ətrafdakı qazın ionlaşdırması ilə əlaqədardır. Beləliklə, qısa zamanda bu hadisənin səbəbi-katod üzərinə düşən işığın tezliyi kifayət qədər yüksək olduqda katoddan elektronların çıxması ilə əlaqədar olduğu aşkar edildi (şəkil 3.1) və bu hadisə işığın təsiri ilə metal katoddan elektronların çıxması ilə izah olundu.



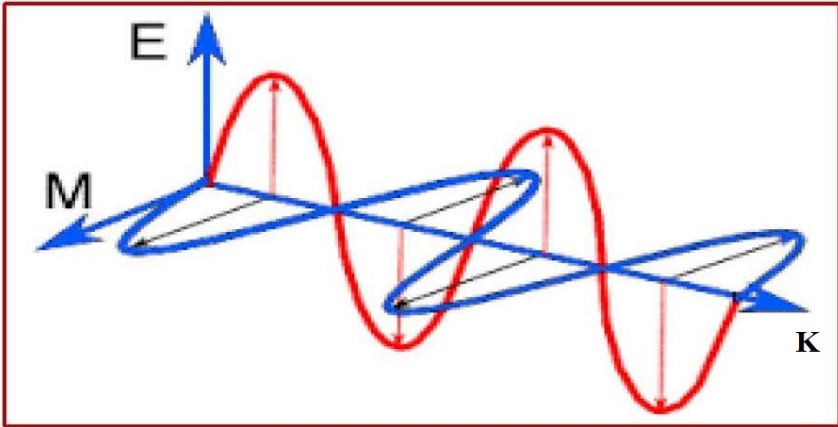
Şəkil 3.1. Işıq şüalarının təsiri ilə metaldan elektronların qopması hadisəsi

Fotoeffektin dalğa nəzəriyyəsinə görə keyfiyyətə izahı ilk baxışda çətinlik yaratmırdı. Doğrudan da, bu belə izah oluna bilər. Bir-birlərinə perpendikulyar istiqamətlərdə rəqs edən

elektrik və magnit sahələrindən ibarət olan elektromaqnit dalğası (şəkil 3. 2) metal səthinə düşəndə elektrik sahəsi elektrona

$$F = eE \quad (3.1)$$

qüvvəsilə təsir edir və onu məcburi rəqşə gətirir. Elektronun rəqş amplitudu elə böyük olur ki, o metalın səthindən kənar çıxa bilər. Bu izahat doğrudursa, onda elektron metaldan çıxdıqda malik olduğu kinetik enerjisini, yəqin ki, düşən dalğadan almalıdır. Deməli, qopan elektronun enerjisi dalğanın enerjisindən, yəni, işığın intensivliyindən asılı olmalıdır.



Şəkil 3.2. İşığın elektromaqnit dalğa modeli

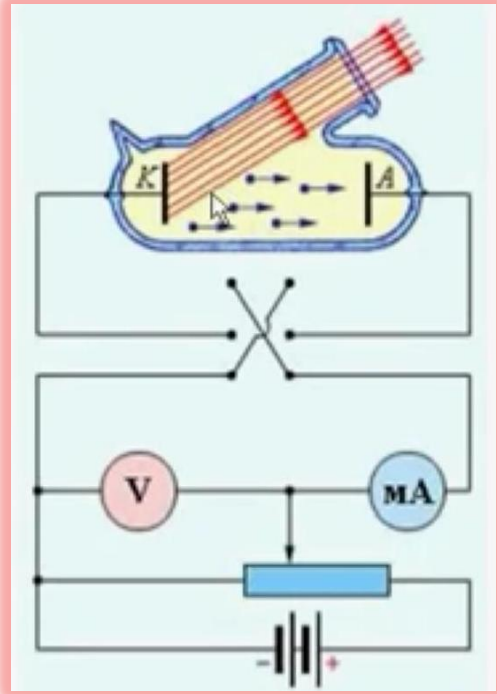
1888-1890 -cı illərdə Rusiya alimi Aleksandr Qriqoryeviç Stoletov (1839-1896), İtaliyan fiziki Auqusto Riçi (1850-1921) bir-birindən asılı olmayaraq fotoeffekt hadisəsini təcrübi yolla yenidən öyrənmişlər. Stoletov fotoeffekt hadisəsini tədqiq edərkən əhəmiyyətli nəticələr əldə etmişdir. O, əvvəlki tədqiqatçılardan fərqli olaraq, elektrodlar arasındakı gərginliyi kiçik götürmüş və katodu müxtəlif uzunluqlu dalğalarla şüalandıraraq

ultrabənövşəyi şüanın ən çox təsir göstərdiyini müəyyən etmişdir. O, həmçinin işığın təsiri ilə yaranan cərəyan şiddətinin intensivliklə düz mütənasib olmasını da söyləmişdir.

1898-ci ildə alman fiziki Filip Lenard həmçinin Con Tomson işığın təsiri ilə katoddan qoparılan yüklü zərrəciyin xüsusi yükünü

$$\left(\frac{e}{m} = 1,7590 \cdot 10^{11} \frac{Kl}{kg}\right)$$

təyin edərək müəyyən-ləşdirmişdilər ki, həmin yüklü zərrəcik elektrondur. Təcrübələr göstərmişdir ki, metalda baş verən xarici fotoeffekt, metalın kimyəvi təbiətindən əlavə onun səthinin vəziyyətindən də asılıdır. Hətta metal səthin çox kiçik çirklənməsi fotoelektronların emissiyasına çox böyük təsir göstərir. Ona görə də,

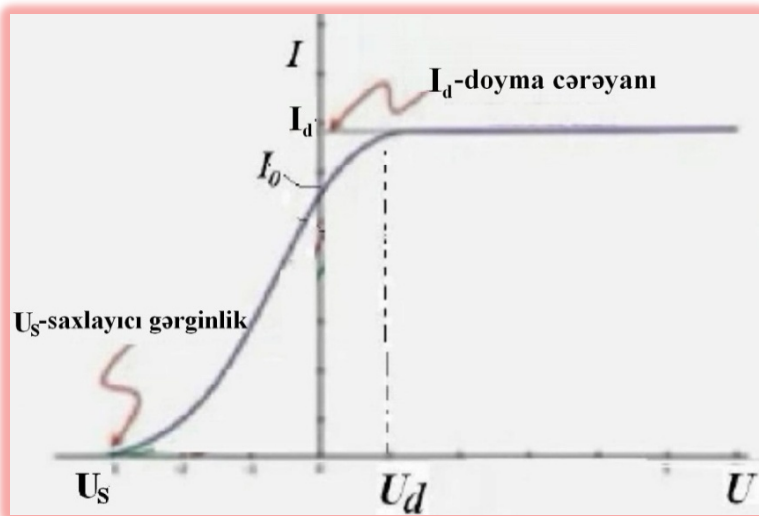


Şəkil 3. 3. Fotoeffektin tədqiq sxemi

Lenard və başqaları Stoletovun təcrübəsini təkmilləşdirərək, bir tərəfdən, digəri isə müstəvi şəkilli iki elektrodu batareyaya birləşdirərək qurğunu bütövlükdə vakuumda yerləşdirdilər. Vakuum borusunun daxilində K və A müstəvi metal elektrodlar sabit cərəyan mənbəyinin qütblərinə birləşdirilir (şəkil 3.3). Mənfi qütbə bağ-

lanmış K katodu üzərinə xüsusi kvarts pəncərədən paralel işıq dəstəsi düşür (adi şüşə ultrabənövşəyi şüaları udur, kvarts isə ultrabənövşəyi şüalar üçün şəffafdır) və onun səthindən elektronları qoparır. Elektrodlar arasında gərginlik U voltmetrlə ölçülür və potensiyometr vasitəsilə anodla katod arasındakı gərginlik dəyişdirilir. Katodu işıqlandırmadıqda cərəyan yaranmır, çünki katodla anod arasındakı vakuumda yükdaşıyıcılar yoxdur, katodu işıqlandırdıqda isə, katoddan çıxan elektronlar anoda çataraq dövrədə cərəyan yaradırlar. Dövrədə yaranan cərəyan şiddətinin (I) elektrodlar arasındakı gərginlikdən (U) asılılığını göstərən əyriyə **volt-ampər xarakteristikası** deyilir.

Fotocərəyanın elektrodlar arasındakı gərginlikdən asılılığı şəkil 3.4 -də göstərilmişdir. Bu əyrinin iki əsas xarakterik cəhəti diqqəti cəlb edir.



Şəkil 3.4. Volt-ampər xarakteristikası

Bunlardan birincisi, (\dot{I}_d) –doyma cərəyanının, ikincisi isə (U_s) –saxlayıcı gərginliyin olmasıdır. 3.4 şəklindən göründüyü kimi, gərginliyin artması ilə fotocərəyan artır (cərəyan şiddəti ampermetrlə ölçülür). Gərginliyin müəyyən qiymətində (U_d) cərəyan şiddəti doyma qiymətinə (I_d) çatır və gərginliyin sonrakı artımında cərəyan şiddətinin bu qiyməti praktiki olaraq dəyişmir. Doyma cərəyan şiddətinin qiyməti katodun səthindən bir saniyədə qopan fotoelektronların sayı (n) ilə düz mütənasibdir.

$$I_d = e \cdot n \quad (3.2)$$

burada e – elektronun yüküdür. Cərəyanın doyması ona dəlalət edir ki, gərginliyin U_d qiymətində, işığın təsiri ilə katoddan çıxan bütün elektronlar anoda çatır. Beləliklə, bu hadisəyə **cərəyanın doyması**, cərəyan şiddətinin maksimal qiymətinə isə **doyma cərəyan şiddəti** deyilir. Təcrübələr göstərir ki, elektrodlar arasındakı gərginlik sıfıra bərabər olduqda dövrədə cərəyan kəsilmir, cərəyan şiddəti müəyyən qiymət (\dot{I}_0) alır. Bu, o deməkdir ki, katoddan çıxan fotoelektronlar müəyyən başlanğıc kinetik enerjiyə malikdir və onlar elektrodlar arasında gərginlik olmadıqda belə, anoda çatır.

Dövrədə cərəyanın sıfıra bərabər olması üçün elektrodlar arasında müəyyən mənfi (əks) gərginlik yaratmaq lazım gəlir. Bunun üçün cərəyan mənbəyinin qiymətini dəyişərək, katoda müsbət yük verdikdə fotoelektronlar elektrik sahəsi tərəfindən tormozlanır. Nəticədə, fotocərəyan şiddəti azalır və gərginliyin müəyyən qiymətində sıfıra bərabər olur. Həmin gərginlikdə fotoelektronlar anoda çatmayaraq geriye, katodun üzərinə qayır. Fotoelektronların anoda doğru hərəkətini saxlayan gərginlik **saxlayıcı gərginlik** (U_s) adlanır. Saxlayıcı gərginlik fotoelektronların maksimal kinetik enerjisindən asılıdır:

$$eU_s = E_k = \frac{m\theta_{max}^2}{2} \quad (3.3)$$

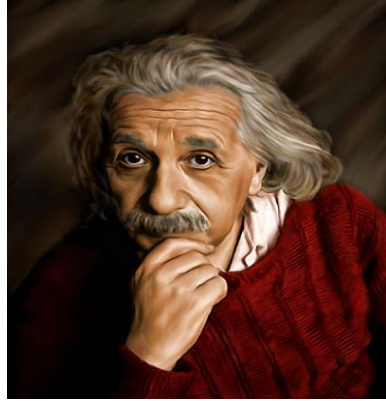
Burada m – elektronun kütləsidir. Fotocərəyan saxlayıcı gərginliyin kiçik qiymətlərində yaranmır. Işığın tezliyini dəyişmədən ($v=const$) onun intensivliyini dəyişdikdə saxlayıcı gərginliyin qiyməti dəyişmir. Deməli, fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi işığın intensivliyindən asılı deyil. Işığın intensivliyinin sabit qiymətində katodun səthinə düşən şüalanmanın tezliyini artırıqda isə saxlayıcı gərginlik artır. Bu, onu göstərir ki, fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi işığın tezliyindən asılıdır. Bu nəticə Stoletov qanunu adlanır. Təcrübələr əsasında fotoeffektin üç qanunu kəşf olunmuşdur:

1. *Katod üzərinə düşən işığın tezliyi sabit olduqda doyma fotocərəyan şiddəti (qopan elektronların sayı) işığın intensivliyi ilə düz mütənasibdir.*
2. *Işığın təsiri ilə qopan elektronların qopma anındakı kinetik enerjisi, düşən işığın intensivliyindən asılı olmayıb işığın tezliyinin artması ilə xətti olaraq artır.*
3. *Hər bir maddə üçün fotoeffektin qırmızı sərhəddi mövcuddur: tezliyin müəyyən sərhəd tezliyindən kiçik olan şüalanma fotoelektrik effekti yaratmır.*

Təcrübədə müəyyən olunmuş bu faktları, yuxarda qeyd etdiyimiz kimi, klassik fizika qanunlarına əsaslanaraq izah etmək mümkün olmamışdır. Çünki bu nəzəriyyəyə görə, böyük intensivlikli istənilən tezlikli elektromaqnit şüalanması fotoeffekt yaratmalıdır, yəni fotoeffektin qırmızı sərhədi mövcud olmamalıdır. Lakin bu fakt fotoeffektin üçüncü qanununa ziddir. Qarşıya çıxan bu çətinlik 1905-ci ildə Albert Eynşteyn tərəfindən açılındı.

§3.1. FOTOEFFEKT ÜÇÜN EYNŞTEYN TƏNLİYİ

Kvant nəzəriyyəsi vasitəsilə fotoeffekt hadisəsi və onun qanunları hərtərəfli izah olunur. Ona görə də, fotoeffekt hadisəsi işığın kvant nəzəriyyəsini təcrübi təsdiq edən mühüm hadisələrdən biridir. 1905-ci ildə A.Eynşteyn, Plankın işığın kvant nəzəriyyəsiindən istifadə edərək, işığın yalnız şüalanmasını deyil, həm də udulma və yayılmasını kvantlarla baş verdiyini fərz etmişdir: cisimlər işığı (elektromaqnit dalğasını) porsiyalarla buraxdıqları kimi, porsiyalarla da udur, həm də, cisimlər işığı məhz ona görə yalnız porsiyalarla udur və buraxırlar ki, işığın özü diskret porsiyalardan (korpuskullardan) ibarətdir.



Albert Eynşteyn (1879-1955)

Eynşteyn göstərdi ki, işığa

$$\varepsilon = h\nu \quad (3.4)$$

enerjisinə malik olan fotonlar seli kimi baxılırsa, bütün bu çətinliklər aradan götürülür. İşığı təşkil edən bu zərrəciklər (korpuskullar) işıq kvantı yaxud foton (yunanca “ışığı”) adlanır. İrəli sürdüyü bu hipotez əsasında Eynşteyn fotoeffekti asanlıqla izah etdi. O, belə mühakimə yürüdü: cisim üzərinə düşən foton enerjisinin bir hissəsi elektronların metaldan qoparılmasında A çıxış işinin görülməsinə, qalan hissəsi isə sərbəst fotoelektronların kinetik enerjisinə sərf olunacaqdır. Bir elektron tərəfindən iki fotonun eyni zamanda udulması ehtimalı cüzi dərəcədə kiçik olduğundan, hər bir azad olunmuş elektron öz enerjisini yalnız bir fotondan alır (əksi ümumiyyətlə doğru

deyildir, yəni hər bir udulmuş foton elektronu azad etmir). Əgər bu enerji elektronun cisimdən çıxış işinə kifayət edərsə, onda fotoeffekt baş verir, yəni elektron cismi tərk edir. Bu nöqtəyindən nəzərdən, hər bir foton metal üzərinə düşərək özünün $h\nu$ enerjisini ayrıca bir elektrona verə bilər. Bu enerji elektronu saxlayan rabitəni qırmaq üçün kifayət olduqda elektron metaldan kənara çıxır. Işığın təsiri ilə azad olunmuş elektronların enerjisi fotonun enerjisindən asılıdır. Aydındır ki, bu prosesdə enerjinin saxlanması qanunu ödənilməlidir:

$$h\nu = A + A_1 + \frac{m\vartheta^2}{2} \quad (3.5)$$

Burada A – elektronu cismin səthindən kənara çıxma işi, A_1 – elektronu atomdan qoparmaq üçün lazım olan enerji (ionlaşma enerjisi) və $\frac{m\vartheta^2}{2}$ – qoparılmış fotoelektronun kinetik enerjisidir.

(3.5) tənliyi **Eynşteyn tənliyi** adlanır. Metalların daxilində küllü miqdarda sərbəst elektronlar mövcud olduğundan A_1 - i sıfıra bərabər götürmək olar. Beləliklə, metallar üçün Eynşteyn tənliyi

$$h\nu = A + \frac{m\vartheta^2}{2} \quad (3.6)$$

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = h\nu - A \quad (3.7)$$

şəklinə düşər. Sonuncu ifadədən görünür ki, hər bir qoparılan elektronun kinetik enerjisini $h\nu - A$ fərqi müəyyən edir. Əgər $h\nu < A$ olarsa, $h\nu - A$ ifadəsinə görə, düşən işıq kvantının enerjisi çıxış işindən az olur, bu səbəbdən də, fotoeffekt baş vermir. Bu, onu göstərir ki,

$$h\nu_{min} = A \quad (3.8)$$

şərti ilə təyin olunan minimal tezlik vardır və bu tezlikdə hələ fotoeffekt yarana bilər, bundan kiçik tezliklərdə isə fotoeffekt müşahidə olunmur (fotoeffektin qırmızı sərhəddi). Beləliklə,

fotoeffekt hadisəsi yalnız $h\nu \geq A$ olduqda baş verir. (3.8) ifadəsi ilə təyin olunan tezlik fotoeffekt yarada bilən ən kiçik tezlikdir. Bu tezlik düşən fotonun enerjisinin elektronun çıxış işinə bərabərliyi şərtindən təyin olunduğu üçün (3.8) ifadəsini

$$\nu_{min} = \frac{A}{h} \quad (3.9)$$

kimi yaza bilərik. Metal üzərinə düşən işığın tezliyi azaldıqca (dalğa uzunluğu artdıqca) metal səthindən qopan elektronların sayı azalır və tezliyin elə bir qiyməti çatır ki, fotoeffekt hadisəsi baş vermir. Tezliyin bu sərhəd qiyməti **fotoeffektin qırmızı sərhədi** adlanır.

Görünən intervalın uzun dalğalı kənarı qırmızı olduğuna görə, buna oxşar olaraq fotoeffektin uzun dalğalı sərhəddi “qırmızı sərhəd” adlandırılır. (3.9) ifadəsindən istifadə edərək metallar üçün sərhəd tezliyini hesablaya bilərik. A –çıxış işi metallar üçün bir-neçə elektron-volt (eV) təşkil etdiyindən ($\nu_{min} = \frac{A}{h} \approx 10^{15} \text{ Hz}$) tezliyin 10^{15} Hz qiyməti spektrin görünən intervalına düşür. Deməli, metallarda fotoeffekt hadisəsi görünən işığın təsiri ilə baş verir. Katod maddəsinin növündən asılı olaraq qırmızı sərhəd uyğun gələn işıq qırmızı, sarı, bənövşəyi, ultrabənövşəyi və s. ola bilər. (3.8) - i (3.6)-da nəzərə alsaq,

$$h\nu = h\nu_{min} + \frac{m\vartheta^2}{2}. \quad (3.10)$$

Buradan alarıq:

$$E_{kin} = h(\nu - \nu_{min}). \quad (3.11)$$

Beleliklə, fotoelektronun maksimal kinetik enerjisi

$$E_k^{maks.} = eV_s. \quad (3.12)$$

Onda (3.6) ifadəsini aşağıdakı kimi yaza bilərik.

$$eU_s = h\nu - A \quad (3.13)$$

və ya

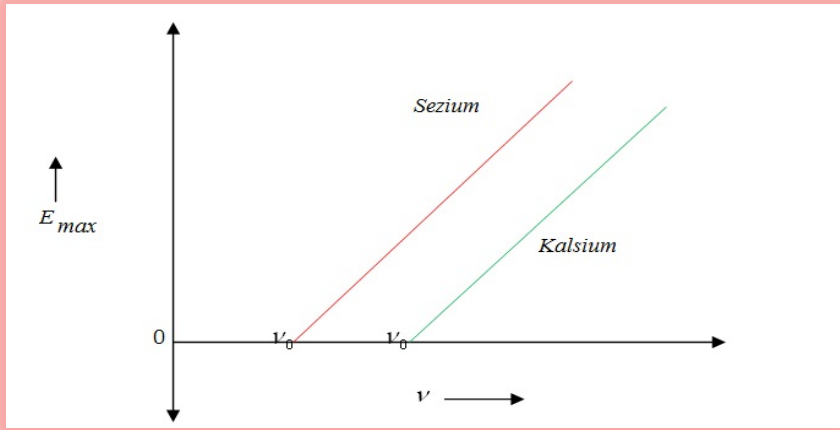
$$U_s = \frac{h}{e} \nu - \frac{A}{e}. \quad (3.14)$$

Sonuncu (3.14) ifadəsi riyaziyyatdan bizə məlum olan ordinat oxunu $U_b = -\frac{A}{e}$ nöqtəsində kəsən və meyli $tg\alpha = \frac{h}{e}$ olan $y = ax - b$ şəklindəki düz xəttin tənliyidir. (3.14) ifadəsində $A = h\nu_{\min} = h\nu_{q,s}$ nəzərə alsaq,

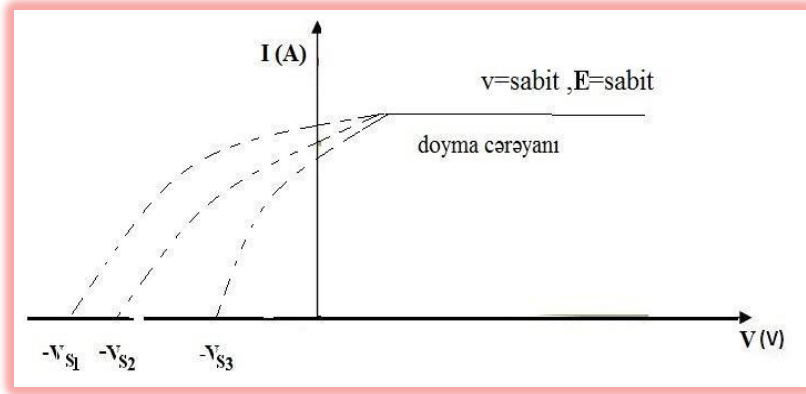
$$U_s = \frac{h}{e} (\nu - \nu_{q,s}) \quad (3.15)$$

alarıq. Axırınıcı ifadədən görünür ki, saxlayıcı gərginliyin qiyməti katod üzərinə düşən işığın intensivliyindən asılı olmayıb, onun tezliyindən asılıdır.

Fotoelektronun maksimal kinetik enerjisi ilə düşən şüaların tezliyi arasındakı asılılıq (şəkil 3.5) düz xətt verəcəkdir.



Şəkil 3.6. Fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi ilə tezlik arasındakı əlaqə qrafiki



Şəkil 3.7. Sabit tezlik və intensivlikdə dəyişən səth maddəsi üçün $I=f(V)$ asılılığı

Düşən işığın tezliyini və intensivliyini sabit saxlayıb, katodun səth maddəsini dəyişdirərək təcrübə aparılsa, şəkil 3.7-dəki kimi qrafiklər əldə edilir. Bu vəziyyətdə fərqli saxlayıcı gərginlik müşahidə edilməlidir.

Fotoeffekt hadisəsi işığın kvant nəzəriyyəsini təcrübədə təsdiq edən mühüm hadisələrdən biri sayılır. Mütləq qara cismin şüalanması halında olduğu kimi, burada da, yəni fotoeffektin izahında da, işığın dalğa təbiətli olmasına əsaslanan klassik fizika çətinliyə məruz qaldı. Bu, Eynşteyn tərəfindən işığın foton nəzəriyyəsinin yaradılmasına gətirdi. Həmin nəzəriyyə fotoeffektin bütün təcrübə qanunauyğunluqlarını müvəffəqiyyətlə izah etdi. İşığın foton nəzəriyyəsinin əsasının qoyulmasına və həmin nəzəriyyəyə görə Albert Eynşteyn Nobel mükafatına (1921) layiq görülmüşdür.

LABORATORİYA İŞİ 5

FOTOEFFEKTİN TƏCRÜBİ YOXLANILMASI

İşin məqsədi: Müasir fizikanın və kvant nəzəriyyəsinin yaranmasında mühüm rol oynayan fotoelektrik hadisəsinin araşdırılması və işıq şüasının kvantlardan (korpuskullardan) ibarət olmasını sübut etmək.

Cihaz və ləvazimatlar: İşıq mənbəyi, qalvanometr, voltmetr, reostat, sabit cərəyan mənbəyi, mikroampermetr, açar.



Mənbə: fotoeffekt

<https://sdu.edu.az/az/physics>

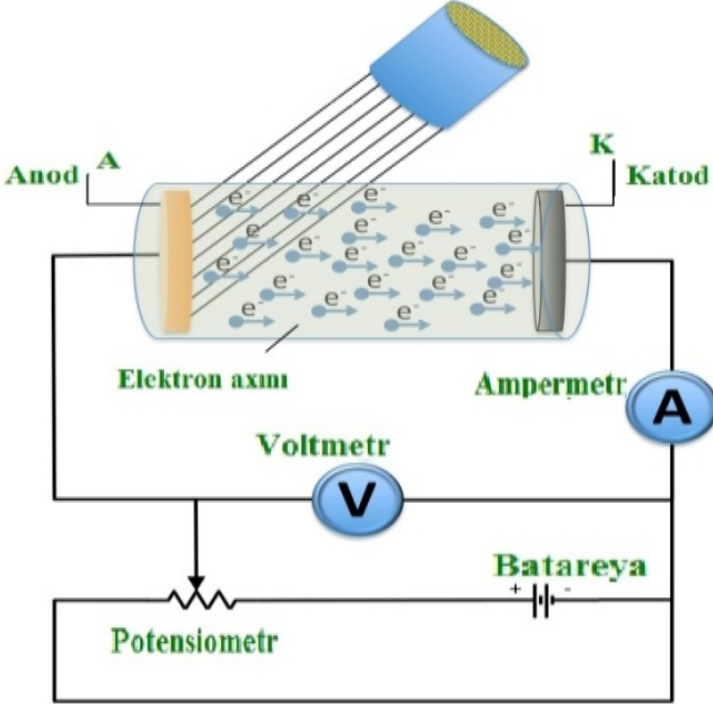
https://www.youtube.com/channel/UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw

[UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw](https://www.youtube.com/channel/UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw)

Qısa nəzəri məlumat:

Simulyasiya fotoeffektin başa düşmək üçün istifadəçiyə kömək edir. Maddənin üzərinə işıq düşdükdə foton udulur (sərbəst elektronlar vakuumda foton uda bilmir), elektronun enerjisi orta enerjiden çox olur, o, olduğu mühitin səthinə yaxınlaşır. Enerjinin bir hissəsi və ya hamısını çıxış işinə sərf edir və xaricə çıxır. Elektronlar maddəni tərk edərək ətraf fəzaya (başqa mühitə) çıxarsa, bu hadisəyə **xarici fotoeffekt** və ya **fotoelektron emissiya** deyilir. Elektronların metaldan qoparılması üçün işin görülməsi zərurəti yalnız fotoeffektdə meydana çıxmır, o həmçinin közərdilmiş cisimlərin elektronlar buraxması hadisəsində (termoelektron emissiyada) də özünü göstərir.

Təcrübədə işıq şüaları vakuüm borusunun daxilində yerləşdirilmiş A müsbət yüklənmiş (anod) elektrod üzərinə düşür və anodun səthindən (şəkil 3.8) işığın təsiri ilə qopan elektronlar K katoduna doğru istiqamətlənmiş hərəkət edir, dövrədə cərəyan yaradırlar.



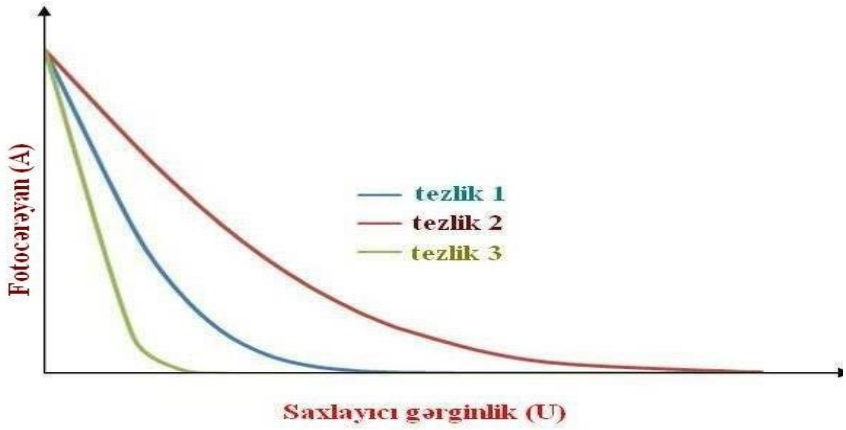
Şəkil 3.8. Anod xarakteristikası

Cərəyanın saxlayıcı gərginlikdən asılılığı şəkil 3.9-da göstərilən əyri ilə verilir. Cərəyanın tədricən azalması azad olunmuş elektronların müxtəlif və arası kəsilmədən dəyişən sürətə malik olması ilə izah olunur.

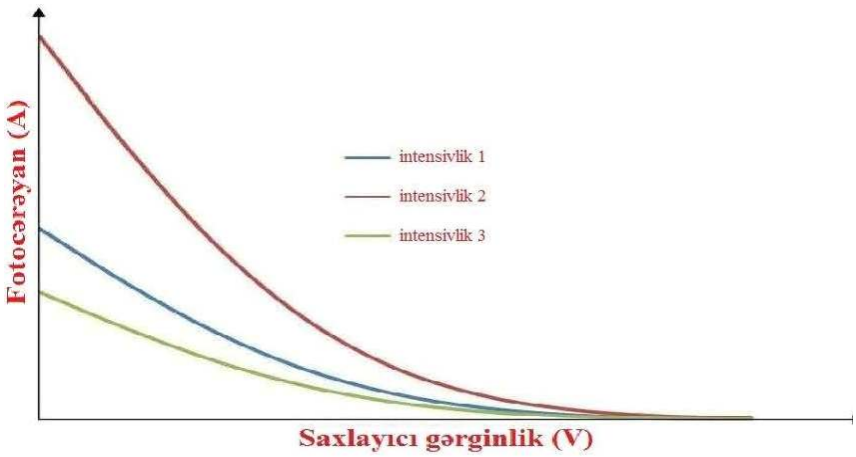
VIRTUAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

Eksperimenti başlama üçün “Switch off light” düyməsi seçilir və aşağıda göstərilən ardıcılıqlar yerinə yetirilir.

- 1.** Fotoeffekt hadisəsinin öyrənilməsi üçün material seçilir.
- 2.** Materialın sahəsi, düşən işığın dalğa uzunluğu və intensivliyi təyin edilir.
- 3.** Işıq mənbəyi işə salınır. “ Wavelength of light” düyməsindən istifadə edərək istənilən işığın dalğa uzunluğunu götürmək olar.
- 4.** “Voltage Applied” düyməsi vasitəsi ilə gərginlik dəyişdirilir və gərginliyin hər bir qiymətinə uyğun mikroampermetrin göstərişi qeyd olunur. Sonra Volt-Amper xarakteristikası qurulur.
- 5.** Düşən işığın dalğa uzunluğu üçün onun intensivliyin müxtəlif qiymətlərində təcrübə təkrarlanır.
- 6.** Düşən işığın intensivliyinin müəyyən bir qiymətində, dalğa uzunluğunun isə müxtəlif üç qiymətlərində eksperiment təkrarlanır və şəkil 3.9 - dakı kimi fotocərəyanın saxlayıcı gərginlikdən asılılıq qrafiki qurulur.
- 7.** Düşən işıq tezliyinin müəyyən bir qiymətində, intensivliyin isə müxtəlif üç qiymətlərində eksperiment təkrarlanır və şəkil 3.10 - dakı kimi fotocərəyanın saxlayıcı gərginlikdən asılılıq qrafiki qurulur.



Şəkil 3.9. Sabit intensivliklərdə fotocərəyanın saxlayıcı gərginlikdən asılılıq qrafiki



Şəkil 3.10. Sabit tezliklərdə fotocərəyanın saxlayıcı gərginlikdən asılılıq qrafiki

Photo Electric Effect

Variables

Choose Material: Sodium

Area of Plate: 0.4 cm²

Intensity of Light: 20 w/m²

Voltage Applied: -7.3 V

Wavelength of Light: 100 nm

Switch Off Light

Reset

Result

9.77E-6 A

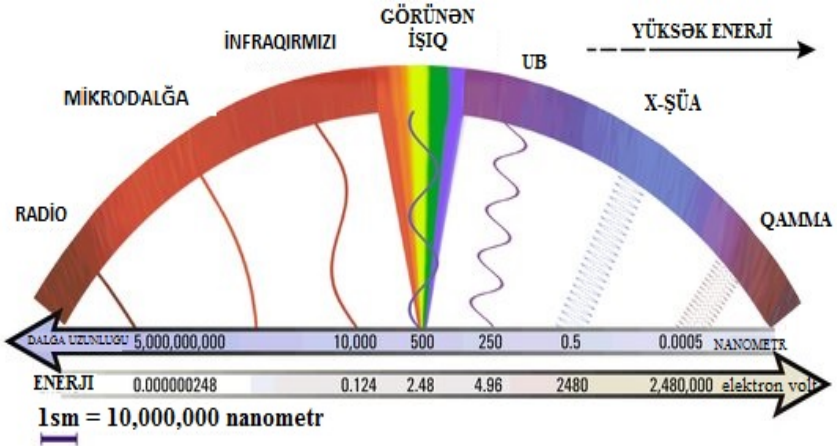
Amrita Virtual Lab

Copyright (C) Amrita University 2009-12

<http://amrita.vlab.co.in/?sub=1&brch=195&sim=840&cnt=4>

SPEKTRAL RƏNGLƏR

Rəng	Dalğa uzunluğu (nm)
Bənövşəyi	380–450 nm
Göy	450–495 nm
Yaşıl	495–570 nm
Sarı	570–590 nm
Narıncı	590–620 nm
Qırmızı	620–750 nm



Mövzuya aid testlər

1. Katodun üzərinə düşən şüalanmanın intensivliyini sabit saxlamaqla tezliyini artırıqda hansı kəmiyyət dəyişməz qalar?
 - A. yalnız doyma cərəyanı
 - B. yalnız elektronun katoddan çıxış işi
 - C. doyma cərəyanı və çıxış işi
 - D. elektronların maksimal kinetik enerjisi və saxlayıcı gərginlik
2. Fotoeffekt üçün Eynşteyn düsturu hansı fundamental qanunun ifadəsidir?
 - A. impuls momentinin saxlanması
 - B. impulsun saxlanması
 - C. elektrik yükünün saxlanması
 - D. enerjinin saxlanması.
3. Fotoeffekt zamanı çıxan elektronların sayı nədən asılıdır?
 - A. düşən işığın intensivliyindən
 - B. düşən işığın tezliyindən
 - C. katodla anod arasındakı məsafədən
 - D. yalnız katodun materialından.
4. Fotoeffekt zamanı işığın hansı təbiəti aşkar olunur?
 - A. dalğa təbiəti
 - B. korpuskulyarlığı
 - C. nə dalğa, nə də korpuskulyar təbiəti
 - D. fotoeffekt hadisəsində işığın təbiəti aşkar olunmur.

5. Fotoeffekt zamanı hansı halda fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi daha böyük olar?

- A. yalnız çıxış işi böyük olduqda
- B. yalnız çıxış işi kiçik olduqda
- C. yalnız fotonun enerjisi böyük olduqda
- D. fotonun enerjisi böyük, çıxış işi kiçik olduqda

6. Foton nədir?

- A. Protonlar selidir.
- B. mc^2 enerjisinə malik zərrəciklər selidir.
- C. Fəzada yayılan elektronlar selidir.
- D. Fəzada yayılan $h\nu$ enerjisinə malik zərrəciklər selidir.

7. Metalın üzərinə düşən işığın tezliyi fotoeffektin qırmızı sərhəddən 3 dəfə çoxdur. İşığın tezliyini 2 dəfə artırısaq, fotoeffektin maksimum kinetik enerjisi necə dəyişər?

- A. 2 dəfə artar
- B. 3 dəfə artar
- C. 2,5 dəfə artar
- D. 4 dəfə artar

8. Real fotonlar nədir?

- A. Elektromaqnit qarşılıqlı təsirinin daşıyıcısıdır.
- B. Elektromaqnit şüalanmasının enerji daşıyıcısıdır.
- C. Elektromaqnit qarşılıqlı təsirinin yükdaşıyıcısıdır.
- D. Elektromaqnit şüalanmasının yükdaşıyıcısıdır.

9. Virtual fotonlar

- A. elektromaqnit qarşılıqlı təsir ilə əlaqəsi olmayan zərrəcikdir.
- B. elektromaqnit şüalanmasının enerji daşıyıcısıdır.
- C. elektromaqnit şüalanmasının yükdaşıyıcısıdır.
- D. elektromaqnit qarşılıqlı təsirinin daşıyıcısıdır.

10. Metal üzərinə göy işıq düşdükdə fotoeffekt müşahidə olunmursa, yaşıl və sarı işıq düşdükdə fotoeffekt müşahidə olunarmı?

- A. Yalnız sarı işıqda müşahidə olunar
- B. Olunmaz
- C. Olunar
- D. Yalnız yaşıl işıqda müşahidə olunar.

11. Fotonun enerjisi elektronun çıxış işindən böyük olduqda aşağıdakı fikirlərdən hansı doğrudur?

- A. Fotoeffekt baş verir və elektron metalın səthindən uzaqlaşır
- B. Fotoeffekt baş vermir.
- C. Fotonun enerjisi çıxış işinə bərabər ola bilməz.
- D. Fotoeffekt baş verir, lakin elektron metalın səthini tərk etmir.

12. Fotoeffekt zamanı katoddan hansı zərrəcik qopur?

- A. proton
- B. müsbət yüklü ion
- C. mənfi yüklü ion
- D. elektron

13. Fotoeffekt zamanı hansı halda fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi daha böyük olar?

- A. yalnız çıxış işi böyük olduqda
- B. yalnız çıxış işi kiçik olduqda
- C. yalnız fotonun enerjisi böyük olduqda
- D. fotonun enerjisi böyük, çıxış işi kiçik olduqda.

TESTİN DÜZGÜN CAVABLARI

1.C. 2.D 3.A 4.B 5.A 6.D 7.C 8.B 9.D 10.C 11.A 12.D 13.D

Yoxlama sualları

1. Elektrodlar arasında gərginlik olmadıqda hansı səbəbə görə dövrədə cərəyan kəsilmir?
2. Elektrodlar arasındakı fotoelektronları necə tormozlamaq olar?
3. Saxlayıcı gərginliklərdə hansı səbəbə görə dövrədəki cərəyan sıfır olur?
4. Fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi işığın intensivliyindən nəyə görə asılı deyil?
5. Hər bir azad olunmuş elektron öz enerjisini nəyə görə yalnız bir fotondan alır?
6. Fotoeffektin qırmızı sərhəddi dedikdə nə başa düşülür?

LABORATORİYA İŞİ 6

FOTOEFFEKTƏ ƏSASƏN PLANK SABITİNİN TƏYİNİ

İşin məqsədi: Fotoeffekti öyrənmək və bu hadisəni xarakterizə edən h –Plank sabitini təyin etmək.

Cihaz və ləvazimatlar: Enerji mənbəyi, açar, reostat, rəqəmsal voltmetr, qalvanometr və işıq mənbəyi, LED (İşıq saçan diodlar), birləşdirici naqillər.



Mənbə:<https://sdu.edu.az/az/physics>
https://www.youtube.com/channel/UCFK_jePky5oofOuH94QrAgw

Qısa nəzəri məlumat:

Alman fiziki Maks Plank mütləq qara cismin şüalanmasını müəyyənləşdirməklə enerjinin kvantlanması (enerjinin paylarla verilməsi) haqqında fərziyyə söyləmişdir və 1900-cü ildə h – Plank sabiti anlayışı elmə daxil edilmişdir. Plank sabiti fotonun enerjisini təyin etmək üçün istifadə olunan fundamental fiziki sabitdir. Fotonun fəzada yayılan $h\nu$ enerjisinə malik zərrəciklər selindən ibarət olması kvant mexanikasının yaranmasına təkan verən amillərdən biridir. Plank sabiti kvantın enerjisinin kiçik paylardan ibarət olması mənasını əks etdirir və fotonun enerjisi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}. \quad (3.16)$$

Göründüyü kimi, kvantın enerjisi Plank sabiti və işığın tezliyi ilə müəyyən olunur. Burada c işığın sürəti, $h=6,626 \times 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$ Plank sabiti, λ və ν uyğun olaraq işığın dalğa uzunluğu və tezliyidir.

Bu laboratoriya işində E və λ -nin qiymətlərinə əsasən h -Plank sabitini müəyyən edəcəyik. (3.16) ifadəsindən görünür ki, dalğa uzunluğu nə qədər kiçik olarsa, kvantın enerjisi bir o qədər böyük olar. Kiçik enerjili şüalar böyük dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox dalğa kimi, böyük enerjili (tezlikli) şüalar isə özünü zərrəcik kimi aparır. Şüalanmanın kvant xarakterli olmasını közərmiş cismin şüalanması, fotoeffekt, Kompton effekti, atomların spektrləri və s. kimi hadisələr təcrübi olaraq təsdiq edir. Kvant mexanikası maddənin iki əsas xassəsini –atom daxili proseslərin kvantlanması və zərrəciklərin dalğa təbiətini açıqladı və sübut etdi ki, dalğalar da ayrı-ayrı kvantlardan ibarətdir. Lakin dalğada kvantlar o qədər çoxdur ki, onları ayrılıqda gözlə seçmək mümkün deyildir. Fotoeffekt hadisəsindən başqa daxili fotoeffekt də mövcuddur. Yarımkeçirici daxilində işığın təsiri ilə sərbəst elektron və deşik cütünün yaranmasına **daxili fotoeffekt** deyilir. Burada foton mənbəyi işıq şüalandıran (LED) dioddur. Diod elektron cihazıdır və o, cərəyanın bir istiqamətdə axmasını təmin edir. Yarımkeçirici diod p -tip və n -tip yarımkeçiricilərdən ibarətdir. Elektronun enerji səviyyələri enerji fərqinə malik valent və keçirici zonalardan ibarətdir.

Əgər metalın səthinə düşən fotonun enerjisi $h\nu$ olarsa, Eynşteynin kvant nəzəriyyəsinə görə,

$$h\nu = A + \frac{m\vartheta^2}{2} \quad (3.17)$$

olar. Burada A elektronun metaldan çıxarılması üçün görülən iş, $\frac{m\vartheta^2}{2}$ metaldan qopan elektronun kinetik enerjisidir. (3.17) ifadəsindən görünür ki, elektronların kinetik enerjisi fotonların tezliyindən asılıdır. Təcrübədə elektronların kinetik enerjisini elektrik sahəsinin saxlayıcı potensialı vasitəsi ilə təyin etmək olar.

$$\frac{m\vartheta_{\max}^2}{2} = eU_s \quad (3.18)$$

Burada U_s – saxlayıcı gərginlik, v_{\max} – çıxan elektronların maksimum sürətidir. Enerjisi $\frac{m\vartheta_{\max}^2}{2} > eU_s$ şərtini ödəyən bütün elektronlar fotocərəyanın yaranmasında iştirak edir. Bunu (3.17) düsturunda nəzərə alsaq,

$$h\nu = A + eU_s \quad (3.19)$$

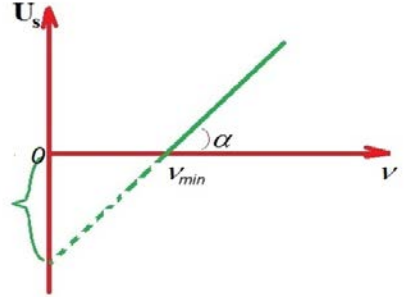
olar. Buradan

$$U_s = \frac{h\nu}{e} - \frac{A}{e}. \quad (3.20)$$

Saxlayıcı gərginliyin düşən işığın tezliyindən asılı olaraq dəyişməsi 3.9 şəkilində göstərilmişdir. Göründüyü kimi, tezliyin artması ilə saxlayıcı gərginliyin ədədi qiyməti düz xətt üzrə artır. Deməli, Eynşteyn nəzəriyyəsinə görə, saxlayıcı gərginliyin qiyməti, düşən işıq selinin intensivliyindən deyil, yalnız tezliyindən asılıdır. λ -nın müxtəlif qiymətlərində işıq şüalandıran diod üçün saxlayıcı gərginlik U_s ölçülə bilər. Saxlayıcı gərginliyin $\frac{1}{\lambda}$ -dan asılılıq qrafikindən

$$tg\alpha = \frac{h}{e}c \quad (3.21)$$

alınır. (3.20) düsturundan görüldüyü kimi, $U_s=f(\nu)$ asılılığının potensial oxunda kəsdiyi parça elektronun çıxış işinin elektronun yükünə olan nisbətində, meyl bucağının tangensi isə Plank sabitinin elektronun yükünə olan nisbətində bərabərdir.



Şəkil 3.9. Saxlayıcı gərginliyin tezliyə asılılıq qrafiki

Yuxarıda göstərilən qrafikdən istifadə edərək, düz xəttin α –meyl bucağını təyin etməklə Plank sabitini tapmaq olar. (3.21) -düsturundan

$$h = \frac{e}{c}tg\alpha. \quad (3.22)$$

Məlum qiymətlərdən istifadə edərək

$$\frac{e}{c} = 5.33 \times 10^{-28} \frac{Cs}{m}$$

(3.18) tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$h = \frac{e}{c}\lambda V.$$

Hər bir LED üçün h hesablanır və alınan nəticələrin orta qiyməti götürülür.

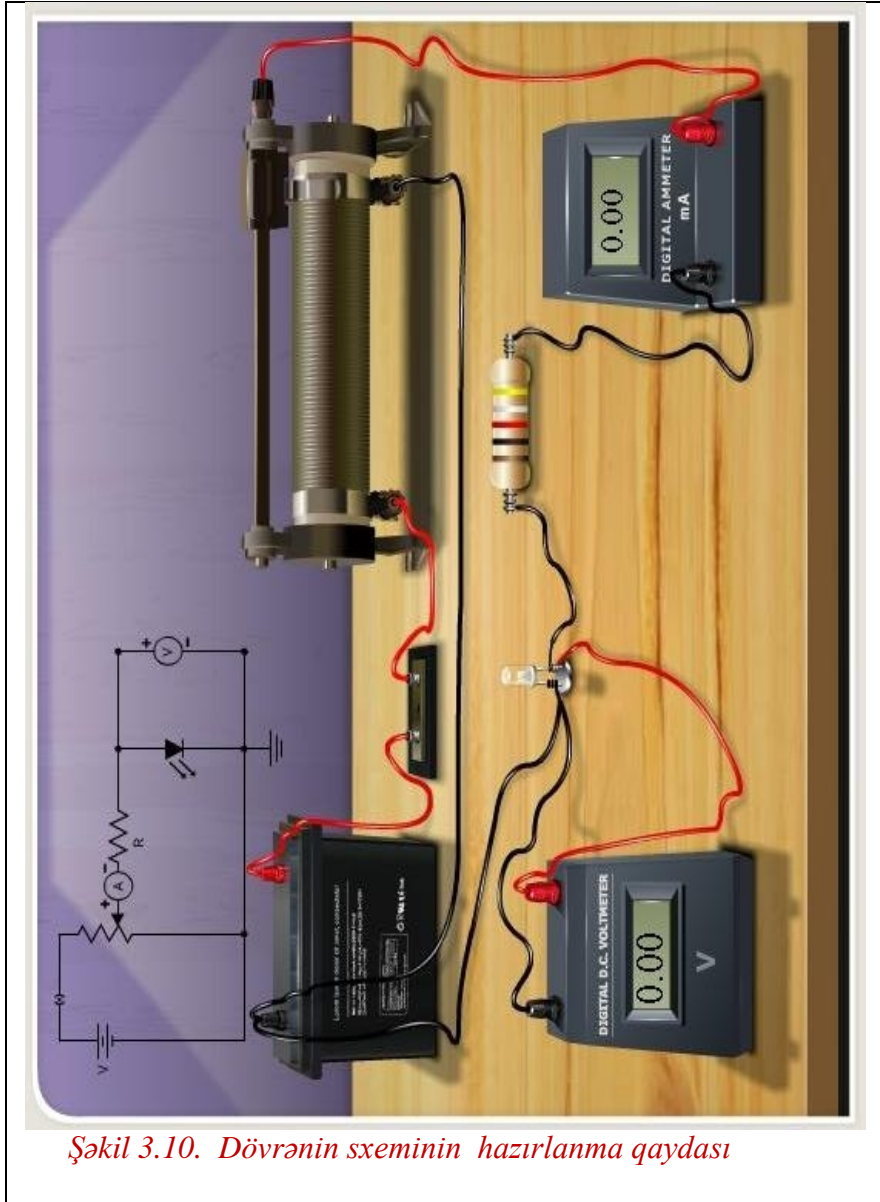
VIRTUAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

Lazım olan qurğunu işə salmaq üçün şəkil 3.10-dakı kimi naqillər düzgün olaraq birləşdirilir və bunun üçün kursordan istifadə edilir. Butun bu proseslərdən sonra iş aşağıda göstərilən ardıcılıqla yerinə yetirilir.

1. Dövrənin düzgün qoşulduğuna əmin olmaq üçün “Insert Key” düyməsini aktivləşdirin.
2. “Select LED” düyməsi altındakı çərçivəni kursor ilə aktivləşdirin.
3. Elektrik cərəyanının qiymətini və onun gərginliyini nizama salmaq üçün rezistorla (elektrik cərəyanının şiddətini və onun gərginliyini nizama salan cihaz), yəni “Rheostat Value” ilə tənzimləyin.
4. Burada işıq mənbəyi ilə düzəlişlər etdikdən sonra ampermetrdə sıfır qiymətinə uyğun andakı voltmetrin qiymətini qeyd edin.
5. Bu əməliyyatı bir-neçə dəfə mavi, yaşıl və qırmızı işıqlar üçün təkrarlayın.
6. LED (saxlayıcı gərginlik) üzrə müvafiq gərginlik voltmetrdən istifadə edilərək ölçülür.
7. LED - i dəyişdirməklə təkrar olaraq saxlayıcı gərginliyin cərəyan şiddətindən asılılıq qiymətləri qeyd olunur.
8. $h = \frac{e}{c} \lambda V$ tənliyindən “h” hesablanır.

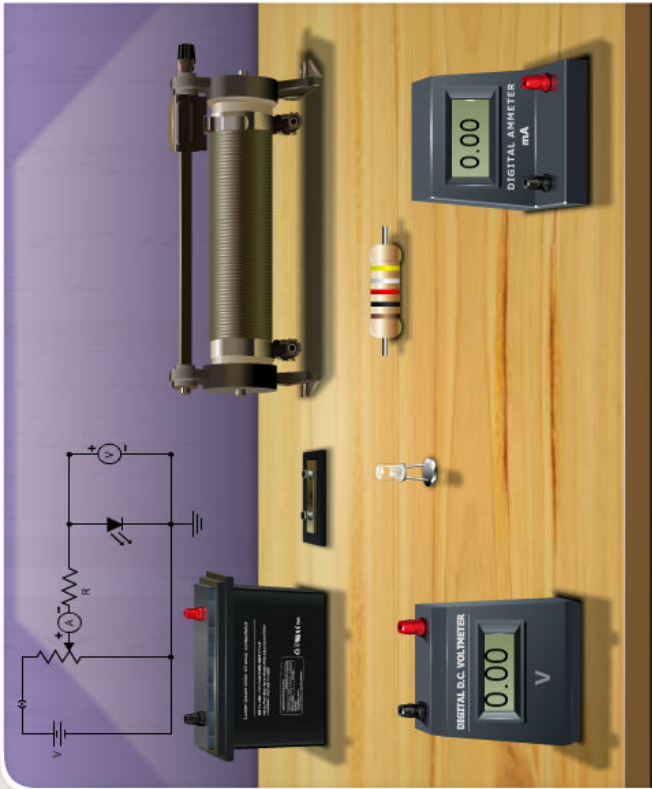
Müşahidələr

LED-in rəngi	Dalğa uzunluğu (λ), nm	Saxlayıcı gərginlik (V) volt	$h = e\lambda V/c$



Şəkil 3.10. Dövrənin sxeminin hazırlanma qaydası

Determination of Planck's Constant



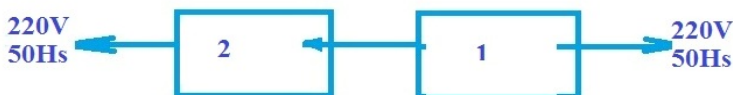
Amrita Virtual Lab

Copyright (C) Amrita University 2009-12

<http://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=194&sim=548&cnt=4>

REAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

Təcrübənin prinsiplial sxemi şəkil 3.12-də verilmişdir:



Şəkil 3.12. 1. Ölçü qurğusu. 2. Ölçü obyektii.

Ölçü obyektinin üzərinə tədqiq olunan fotoelementlə fotoqəbuledici yerləşdirilir və pəncərəsi ölçü obyektinə yaxınlaşdırılır. Bundan sonra isə ölçü qurğuları elektrik şəbəkəsinə qoşulur.

1. Siqnal lampasını və mikroampermetri işçi vəziyyətinə gətirmək üçün ölçü cihazının üzərində olan elektrik açarını işçi vəziyyətinə çevirməli. *B* indikatorunu sıfır vəziyyətinə keçirərək 5 dəqiqə qızdırdıqdan sonra, sıfırlama düymələri vasitəsilə indikatorun cərəyanı sıfır vəziyyətinə gətirilir. “Сеть” düyməsi vasitəsilə lampa işə salınır və 15 dəqiqə gözləmək lazımdır ki, lampa qızsın, bundan sonra isə “Прямо”, “Обратно” düymələri vasitəsilə lazım olan rejim seçilir. İşıq şüasının qarşısına lazım olan işıq süzgəci qoyulur.
2. Mikroampermetrin (mkA) göstəricisi gərginliyin hər bir qiymətində təyin edilir və gərginliyin dəyişdirilməsi “+” və “-” düymələri vasitəsilə icra olunur.
3. Dəstəyin köməyiylə diski 5 vəziyyətinə gətirərək mikroampermetrdə fotocərəyanın sıfır qiyəti müəyyən edilir. Burada fotocərəyanın saxlayıcı gərginliyini təyin edərkən, fotocərəyanın sıfır qiymətini almaq üçün gərginliyi sıfırdan başlayaraq saxlayıcı gərginliyə qədər dəyişmək lazımdır. Alınan nəticələr əsasında volt-ampere xarakteristikası qurulur. İşıq süzgəclərini ardıcıl olaraq işıq selinin qarşısına gətirərək proses davam etdirilir.

Mövzuya aid testlər

1. Işıq dalğasının təbiəti nədən ibarətdir?

- A. Işıq elektromaqnit dalğasıdır
- B. Işıq elektrik dalğasıdır
- C. Işıq maqnit dalğasıdır
- D. Işıq elektron selidir.

2. Işıq zərrəcikləri necə adlanır?

- A. Elektronlar
- B. Fotonlar
- C. Plazmonlar
- D. Eksitonlar

3. Işıq kvantının enerjisi hansı düsturla ifadə olunur?

- A. $E = \frac{v}{h}$
- B. $E = \frac{h}{v}$
- C. $E = hv$
- D. $E = ch$

4. Saxlayıcı gərginlik nəyə deyilir?

- A. Dövrədə cərəyanın sıfırdan fərqli olması üçün elektrodlar arasında yaradılan müəyyən mənfi (əks) gərginliyə saxlayıcı gərginlik deyilir.
- B. Dövrədə cərəyanın müəyyən qiymət alması üçün elektrodlar arasında yaradılan gərginliyə saxlayıcı gərginlik deyilir.
- C. Dövrədə cərəyanın sıfıra bərabər olması üçün elektrodlar arasında yaradılan müəyyən mənfi (əks) gərginliyə saxlayıcı gərginlik deyilir.

D. Elektrodlar arasında yaradılan müsbət gərginliyə saxlayıcı gərginlik deyilir.

5. Saxlayıcı gərginlik nədən asılıdır?

- A. Saxlayıcı gərginlik fotocərəyanın maksimal qiymətindən asılıdır.
- B. Saxlayıcı gərginlik fotoelektronların maksimal kinetik enerjisindən asılıdır.
- C. Saxlayıcı gərginlik fotoelektronların minimal kinetik enerjisindən asılıdır.
- D. Saxlayıcı gərginlik fotoelektronların kinetik enerjisindən asılı deyil.

6. Saxlayıcı gərginlik necə təyin olunur?

A. $eU_s = \frac{m\theta_{\max}^2}{2}$

B. $eU_s = \frac{m\theta_{\max}}{2}$

C. $eU_s = \frac{mJ_{\max}^2}{2}$

D. $eU_s = \frac{mJ_{\max}}{2}$

7. Böyük enerjili (tezlikli) şüalar

- A. kiçik dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox dalğa kimi aparır.
- B. kiçik dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox zərrəcik kimi aparır.
- C. böyük dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox dalğa kimi aparır.
- D. böyük dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox zərrəcik kimi aparır.

8. Kiçik enerjili şualar

- A. böyük dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox dalğa kimi aparır.
- B. kiçik dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox zərrəcik kimi aparır.
- C. kiçik dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox dalğa kimi aparır.
- D. böyük dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün özünü daha çox zərrəcik kimi aparır.

9. Verilmiş metal üçün fotoeffektin qırmızı sərhəddi nədən asılıdır?

- A. Düşən işıqın dalğa uzunluğundan
- B. Sabit kəmiyyətdir
- C. Düşən işıqın enerjisindən
- D. Düşən işıqın intensivliyindən

10. Fotoeffektin qırmızı sərhəddi nədən asılıdır?

- A. Katodun hazırlandığı materialın növündən
- B. Anod və katoda verilən gərginlikdən
- C. Düşən işıqın intensivliyindən
- D. Düşən işıqın tezliyindən

TESTİN DÜZGÜN CAVABLARI

1.A. 2.B 3.C 4.C 5.B 6.A 7.B 8.A 9.B 10.A

Yoxlama sualları

1. Kvantın enerjisi necə müəyyən olunur?
2. Kvant mexanikası maddənin iki əsas xassəsini –atomdaxili proseslərin kvantlanması və zərrəciklərin dalğa təbiətini hansı hadisələrə görə açıqladı?
3. Diod lampasının iş prinsipi nədən ibarətdir?
4. Saxlayıcı gərginliyin qiyməti hansı səbəbə görə düşən işıq selinin intensivliyindən deyil yalnız tezliyindən asılıdır?

Mənim ümmətimdən hər bir ağıl sahibinə bu dörd şey vacibdir: elmi eşitmək, onu öyrənmək, yaymaq və ona əməl etmək.

(Hz.Məhəmməd s.ə.v)

IV FƏSİL

SPEKTRAL SERİYALAR VƏ HİDROGEN

ATOMUNUN ENERJİ SƏVIYYƏLƏRİ



Mənbə: spektr

<https://sdu.edu.az/az/physics>

https://www.youtube.com/channel/UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw

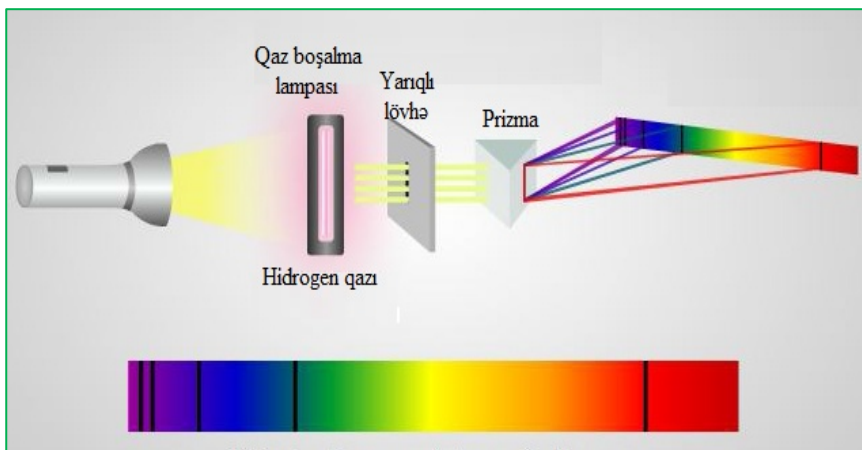
[UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw](https://www.youtube.com/channel/UCFK_IePky5oofOuH94QrAgw)

§4.1. ATOMUN SPEKTRLƏRİ

XIX əsrin ikinci yarısı atom və molekul spektrləri geniş və hərtərəfli araşdırılmışdır. Məlum olmuşdur ki, hər bir element atomları spektrə malikdir və spektrinə görə atomun hansı elementə aid olduğunu söyləmək olur. Spektrlərin tərkibini və onun xüsusiyyətlərini öyrənməklə cismin quruluşu haqqında əhəmiyyətli məlumatlar əldə edilir. Atom spektrlərindəki xətlər nizamsız deyil, müəyyən qanunauyğunluqlarla qruplar təşkil edir. Bu xətlər qrupuna *spektral seriya deyilir*. Bununla yanaşı, spektrlər buraxma və udulma kimi növlərə də malikdirlər.

Hər hansı cismin şüalandırdığı işığın tərkibinə daxil olan tezliklər (və ya dalğa uzunluqları) toplusundan ibarət spektrə, cismin **buraxma (şüalanma) spektri** deyilir.

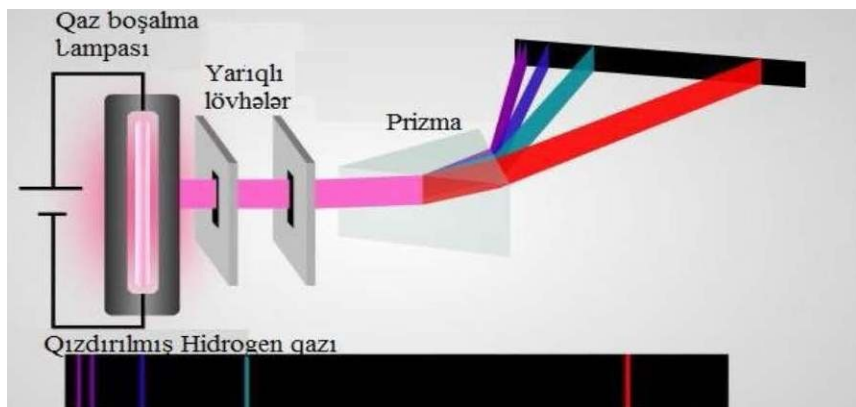
Verilən cismin udduğu işığın tezlikləri (və ya dalğa uzunluqları) toplusuna həmin cismin **udulma spektri** deyilir. Şəkil 4.1-də laboratoriya şəraitində alınmış hidrogen atomunun udulma, şəkil 4.2-də isə həmin elementin şüalanma spektrinin alınması göstərilmişdir. Maddədən ağ işıq keçdikdə onun bir hissəsi maddənin (hidrogen atomları) atom və molekulları tərəfindən udulur. Ona görə də ağ işığın bütöv spektrində qaranlıq udulma xətləri alınır. Müəyyən edilmişdir ki, verilən maddənin udulma spektrində alınan qaranlıq xətlərin yerləri, həmin maddənin buraxma spektrindəki xətlərə uyğun gəlir.



Şəkil 4.1. Hidrogen atomunun udulma spektri

Buraxma spektrləri üç növ olur: **xətti, zolaqlı və bütöv spektrlər**.

Müəyyən edilmişdir ki, bərk və maye maddələrin şüalanma spektri *kəsilməz (bütöv) spektrdir*.



Şəkil 4.2. Hidrogen atomunun şüalanma spektri

Molekulların spektrləri isə aralarında kəskin sərhəd olmayan enli zolaqlardan ibarətdir. Ona görə də, molekulların spektrləri *zolaqlı spektr* adlanır. Atomların spektrləri isə tamamilə başqa formaya malikdir. Biz burada, əsasən, atomların spektrlərini öyrənəcəyik. Belə ki, atomların spektrləri bir-birlərindən ayrı-ayrı yerləşən kəskin xətlərdən ibarətdir. Ayrı-ayrı işıqlı xətlərdən ibarət, yəni tərkibində yalnız müəyyən tezliklər (dalğa uzunluqları) olan spektrə *xətti spektr* deyilir. Məhz bununla əlaqədar olaraq atomun spektri xətti spektr adlanır. Spektrdə hər bir xətt müəyyən intensivliyə malik olur və bir-birindən qaranlıq zolaqlarla ayrılır. Atomaşəklində olan qazlar (təsirsiz qazlar) və metal buxarları xətti spektr verir. Xətti spektr almaq üçün müxtəlif üsullar vardır.

Qaz daxilində müxtəlif növ elektrik boşalmaları yarandıqda, buxar və qazların alovda qızdırılması zamanı xətti spektr alınır. Hər bir kimyəvi element atomu yalnız özünə məxsus spektral xətlər toplusundan ibarət olan dalğalar şüalandırır. Qazları kifayət qədər qızdırdıqda onlar elektromaqnit dalğaları şüalandırmağa başlayır. Şüalandırılan bu işıq prizmadan keçirilsə ekranda onun şüalanma spektri alınacaqdır. Bu spektr müəyyən enerjili ayrı-ayrı xətlərdən ibarətdir. Ən sadə spektr atomar hidrogendə müşahidə edilmişdir. Cəvə, neon kimi digər atomlarda tamamilə fərqli xətti spektrlər müşahidə olunur.

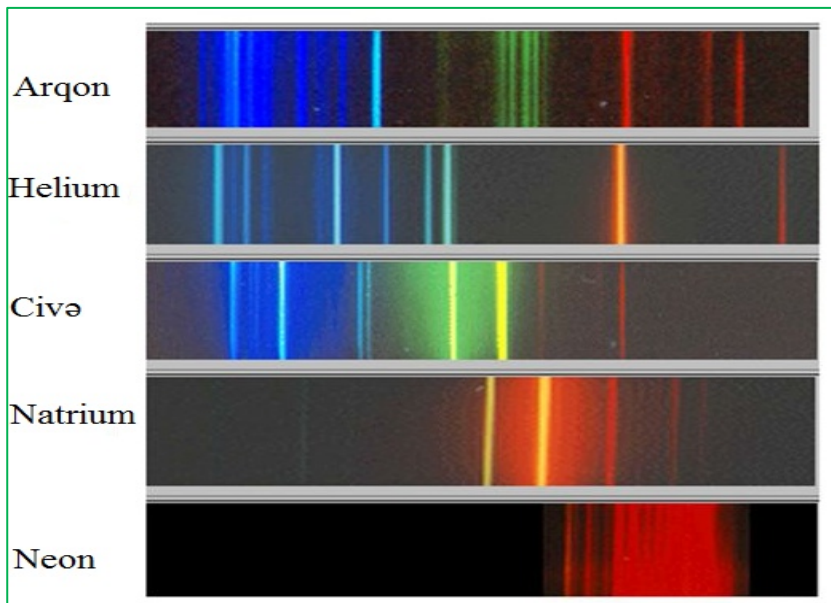
Müxtəlif elementlərin spektrlərinin öyrənilməsi göstərir ki, xətti spektrlərin alınması atom daxilində gedən mürəkkəb proseslərin nəticəsidir. Bunun ən sadə izahı belədir: həyacanlanmış atom bir enerji səviyyəsindən digərinə keçdikdə özündən müəyyən tezlikli (dalğa uzunluqlu) enerji şüalandırır ki, bu da, xətti spektr verir. Spektrlər maddələrin kimyəvi tərkiblərinin öyrənilməsində mühüm rol oynayır. Maraqlıdır ki, hər bir kimyəvi element, hansı rəngli dalğa uzunluqlu işığı şüalandırırsa, həmin rəngli işığı da udur. Deməli, hər bir atom yalnız özünə məxsus olan enerji səviyyələrinə malikdir.

Kirxof təcrübi olaraq udulma spektrləri üçün belə qanun təklif etmişdir. Hər bir maddənin atom və molekulları hansı dalğa uzunluqlu (tezlikli) işığı şüalandırırsa, həmin dalğa uzunluqlu işığı da udur. Bu qanuna buraxma və udulma spektrindəki xətlərin **dönmə qanunu** deyilir. Bu hadisə bir çox elementlərin qaz və buxar spektrlərində müşahidə edilir.

Günəş tacı – xromosfera və Yer atmosferi Günəşin buraxma spektrində müəyyən spektral xətləri udur və onun bütöv spektrində çox sayda qaranlıq xətlər müşahidə edilir. Əgər hidrogen əvə-

zınə başqa bir elementlərin buxarını götürsək, hər qazın özünəxas diskret spektr xətləri əldə etmiş olarıq (şəkil 4.3).

Müxtəlif insanların barmaq izləri bir-birindən fərqli olduğu kimi, elementlərin də spektrləri fərqlidir.



Şəkil 4.3. Atomların şüalanma spektrləri

§4.2. HİDROGEN ATOMUNUN SPEKTRİNİN TƏCRÜBİ QANUNAUYGUNLUQLARI

XX əsrin axırlarında müəyyən edilmişdir ki, hidrogen atomunun spektrlərini təşkil edən dalğa uzunluqları (spektral xətlər) spektral seriyalar adlanan müəyyən qruplar əmələ gətirir. İlk spektral seriyanı 1885-ci ildə İsveçrə fiziki İohann Balmer almışdır. O, spektral xətlərin vahid modelini yaratmaq üçün ən yüngül atom olan hidrogen atomunun spektrinin görünən hissəsindən istifadə etmişdir. Balmer görmüşdür ki, hidrogen atomunun spektral xətlərində müəyyən sadə qanunauyğunluq müşahidə olunur.

Həqiqətən də, (4.3) şəklindəki spektrlərin xətləri arasındakı qanunauyğunluq bilavasitə gözə çarpır və təcrübələr göstərir ki, bu qanunauyğunluq spektral xətlərin aralarındakı məsafə və intensivliklərlə özünü göstərir. Xətlərin yerləşməsindəki qanunauyğunluqları ifadə etmək üçün Balmer aşağıdakı empirik düsturunu vermişdir:

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (4.1)$$

Burada $B = 3646,13 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$ müəyyən sabit, n – tam ədəd olub 3, 4, 5, .. ∞ qiymətlərini alır, λ isə uyğun xəttin dalğa uzunluğudur. Beləliklə, təcrübi olaraq aşağıdakı ümumi qanunauyğunluqlar aşkar edilmişdir:

1. Atomun spektri xəttidir, yəni ayrı-ayrı xətlərdən ibarətdir. Həmin xətlər spektral xətlər adlanır. Hər bir spektral xətt müəyyən konkret dalğa uzunluğuna (tezliyə) malikdir;

2. Hər bir spektrdə xətləri müəyyən qruplara ayırmaq olar. Hər bir qrup daxilində xətlərin düzülüş ardıcılığında və intensivliklərində müəyyən qanunauyğunluqlar vardır. Bu cür xətlər qrupuna spektral seriyalar deyilir.

Adətən, atom spektroskopiyasında hər-hansı spektral xətt dalğa uzunluğu ilə deyil, tezliklə xarakterizə olunur. Məlumdur ki, tezliyi təyin etmək üçün işıq sürəti nəzərə alınır. Bu sürət o zaman təcrübədə çox dəqiq təyin olunmadığı üçün spektroskopiyada $\tilde{\nu} = 1/\lambda$ dalğa ədədi daxil edilmişdir. Onda Balmerin empirik düsturu

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{n^2 - 4}{Bn^2} = \frac{1}{B} - \frac{4}{Bn^2} = \frac{4}{B} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$\tilde{\nu} = \frac{4}{B} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (4.2)$$

olar. Burada $4/B$ nisbəti R ilə əvəz olunur və bu sabit ilk dəfə olaraq İsveç alimi J.Ridberq tərəfindən daxil edildiyindən Ridberq sabiti ($R=1,097 \cdot 10^7 m^{-1}$) adlanır. Beləliklə, Balmer düsturunu aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right]. \quad (4.3)$$

(4.3) ifadəsi ilə təyin olunan spektral xətlər qrupu Balmer seriyası adlanır. Bu düsturdan Hidrogen atomunda Balmer seriyasının bütün xətlərini almaq olar. Bu seriyadan sonra hidrogen atomunun spektrinin ultrabənövşəyi hissəsində aşağıdakı seriya kəşf edilmişdir:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad n=2, 3, 4, \dots \quad \text{Layman seriyası}$$

Bundan sonra spektrin infraqırmızı oblastında isə dörd seriya kəşf olunmuşdur.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad n=4, 5, 6, \dots \quad \text{Paşen seriyası}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad n=5, 6, 7, \dots \quad \text{Breket seriyası}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad n=6, 7, 8, \dots \quad \text{Pfund seriyası}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{6^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad n=7, 8, 9, \dots \quad \text{Hemfri seriyası}$$

Bütün bu seriyalarda birinci hədlər sabitdir, ikinci hədlər isə dəyişəndir. Çoxlu təcrübi nəticələri və nəzəri tədqiqatları ümumiləşdirərək 1889-cu ildə J.Ridberq Balmerin empirik düsturuna bənzər olaraq spektrlərin bir-neçə seriyaları üçün daha ümumi münasibət kəşf etdi. Bu ümumi münasibət Ridberq düsturu kimi tanınır və

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right] \quad n_i > n_f, \quad (4.4)$$

şəklindədir. Burada n_i və n_f tam qiymətlər alır. Balmer seriyasındakı ayrı - ayrı xətlər n_i -nin 3, 4, 5 və 6 qiymətlərinə uyğun gəlir və bu xətlər alfa, beta, qamma və tetta adlanır. Bu xətlərin dalğa uzunluqları cədvəl 4.1 - də verilmişdir: **H_α – qırmızı** ,

H_β – mavi, H_γ – açıq bənövşəyi, H_θ – tünd bənövşəyi rənglərə malik olub, spektrin görünən intervalına düşür.



J.J. Balmer (1825-1898)



J. Ridberg (1854-1919)

xətlərin adı	n_f	n_i	Simvol	dalğa uzunluqları
Balmer Alfa	2	3	H_α	656.28 nm
Balmer Beta	2	4	H_β	486.13 nm
Balmer Qamma	2	5	H_γ	434.05nm
Balmer Delta	2	6	H_δ	410.17 nm

Cədvəl 4.1. Balmer seriyası –spektrin görünən oblastında xətlərin dalğa uzunluqları

Bütün seriyalarda $n \rightarrow \infty$ olduqda dalğa ədədləri müəyyən bir limit qiymətinə yaxınlaşır. Buna *spektral seriyanın sərhədi* deyilir. Spektral qanunauyğunluqlar təcrübədə tapıldıqdan sonra İsveç alimi V.Rits (4.4) ifadəsində aşağıdakı əvəzləmələri aparmışdır:

$$\tilde{\nu} = T(n_f) - T(n_i) \quad (4.5)$$

Burada $T(n_f) = \frac{R}{n_f^2}$ və $T(n_i) = \frac{R}{n_i^2}$ funksiyalar *spektral termlər* adlanır. (4.5) düsturu Rits prinsipini ifadə edir. Bu prinsipə görə, ixtiyari atomun şüalanma tezliyini iki spektral termin fərqi kimi tapmaq olar və onların müxtəlif kombinasiyaları atomun bütün tezliklərini verəcəkdir. Deməli, spektral seriyadakı xətlərə uyğun tezlik iki spektral termin fərqi bərabərdir. Bu prinsipin fiziki mahiyyətini nəzəri yolla ilk dəfə 1913-cü ildə Danimarka alimi Nils Bor almışdır. O, atomun işıq şüalandırması nəzəriyyəsini irəli sürərkən M. Plankın elektromaqnit şüalanmasının diskret xarakterdə olması mülahizəsinə əsaslanmışdır. Hidrogen atomunun xətti spektrini izah etmək üçün Bor iki postulat vermişdir. Həmin postulatlarla növbəti paragrafda tanış ola bilərsiniz.

§4.3. BOR POSTULATLARI

1911-ci ildə Rezerfordun atomun planetar modelini verməsi ilə atom fizikasında inqilab baş verdi. Bu modeldə atomun quruluşu Günəş sisteminin quruluşunu xatırladır. Modelə əsasən, planetlər sistemində Günəş olduğu kimi atomun mərkəzində də müsbət yüklü nüvə yerləşir, onun ətrafında isə planetlər Günəş ətrafında fırlandığı kimi, elektronlar müxtəlif orbitlər üzrə fırlanır. Beləliklə, planetar modeldə, klassik fizika qanunlarına əsasən, nüvə ətrafında qapalı trayektoriya üzrə hərəkət edən elektron enerji şüalandırdığından nüvənin üzərinə düşməli və atom sistemi dağılmalıdır. Lakin bilirik ki, atom sisteminin dayanıqlığı Kainat yaranandan mövcuddur.



Nils Bor (1885-1962)

Rezerford modelini bu çətinliklərdən qurtarmaq, atomun dayanıqlı və spektrinin xətti olmasını izah etmək üçün Bor klassik fizikaya zidd olan aşağıdakı iki postulatı vermişdir.

Borun birinci postulatı:

- *Adi şəraitdə atomlar (və ya atom sistemləri), enerjinin yalnız müəyyən (diskret) qiymətləri ilə xarakterizə olunan stasionar hallarda ola bilər. Bu stasionar hallarda*

elektronlar nüvə ətrafında öz enerjilərinə uyğun energetik səviyyələrdə hərəkət edir və atomlar enerji şüalandırmır.

Deməli, elektron yalnız müəyyən şərtləri ödəyən diskret stasionar orbitlər üzrə hərəkət edir. Bor sübut etdi ki, atomda yalnız müəyyən orbitlər mövcuddur. Elektronlar həmin orbitlər üzrə hərəkət etdikdə enerji şüalandırmır. Bora görə, şüalanma yalnız elektronun bir orbitdən başqa orbitə keçməsi zamanı baş verir.

Borun ikinci postulatına əsasən, atomun çox həyəcanlaşmış haldan az həyəcanlaşmış və ya normal hala keçidi zamanı müəyyən tezliklə xarakterizə olunan işıq kvantı (foton) şəklində enerji ayrılır. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, sərbəst halda fotonlar atomlarda mövcud olmur. Fotonlar yalnız atomun həyəcanlaşması zamanı mövcud olur. Beləliklə, Borun ikinci postulatına görə:

- ***Atom yalnız bir stasionar haldan digərinə keçdikdə müəyyən $h\nu$ tezlikli şüa buraxa (və ya uda) bilər və buraxılan (udulan) şüanın enerjisi stasionar halların enerjilərinin fərqi ilə bərabər olar:***

$$h\nu = E_n - E_m \quad (4.5)$$

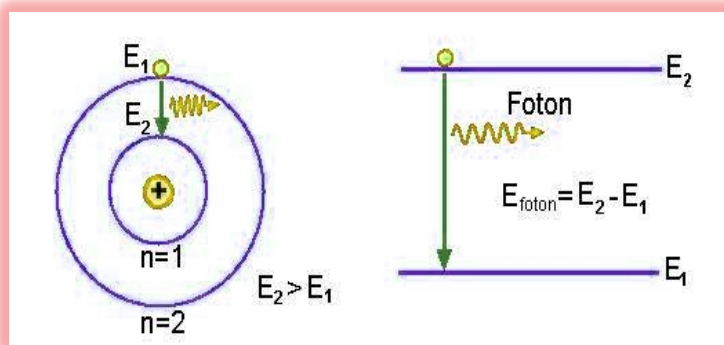
burada h – Plank sabiti, E_m , E_n – m və n stasionar hallarda atomun enerjisidir.

Borun birinci postulatına əsasən, atomda yalnız o orbitlər həqiqətən stasionar orbitlər ola bilər ki, onlarda elektronun impuls momenti

$$L = m\vartheta r = n\hbar \quad (4.6)$$

şerti ödənilsin. Burada n -ə ***baş kvant*** ədədi deyilir və $n = 1, 2, 3, \dots$ diskret qiymətlər alır. Bor nəzəriyyəsində hidrogen

atomununda və hidrogenəbənzər atomlarda elektron r radiuslu müəyyən dairəvi orbit üzrə hərəkət edir və bu orbitlər *stasionar* və ya *kvant orbitləri* adlanır. Stasionar halın hər birinə müəyyən enerji ($E_1, E_2, \dots E_n$) uyğun gəlir. Lakin hər bir orbitdə elektrona müəyyən enerji müvafiq gəldiyindən, onları *energetik səviyyə* və ya *kvant səviyyəsi* adlandırmaq daha məqsədəuyğundur.



Şəkil 4.5. Atomun həyəcanlaşma halı

Beləliklə, elektronlar atomlarda stasionar hallarda olurlar ki, bu stasionar halların sayı $n=1,2,\dots \infty$ qiymətlərini alır. Elektronu mümkün qədər ən aşağı enerji səviyyəsində, yəni $n=1$ olma halı *əsas hal* yaxud *normal hal*, ondan yuxarıdakı ($n=2,3,\dots$) hallara isə *həyəcanlaşmış hallar* deyilir.

Elektronu əsas haldan həyəcanlaşmış hallara ($n=2,3,\dots$) keçirmək üçün lazım olan enerjiyə *həyəcanlaşma enerjisi* deyilir. Göründüyü kimi, müxtəlif həyəcanlaşma hallarına müxtəlif həyəcanlaşma enerjiləri uyğundur. Həyəcanlaşma hallarının enerjisi n artdıqca bir-birinə yaxınlaşır və $n \rightarrow \infty$ halında enerji sıfır olur.

Enerjinin müsbət olması isə, elektronun artıq nüvəyə bağlı olmadan sərbəst hərəkət edə bildiyi mənasını verir. Bu halda enerji kəsilməz qiymətlər alır. Atomun əsas halından bir elektron qoparmaq üçün lazım olan enerjiyə *ionlaşma enerjisi* deyilir. Hidrogen atomu üçün bu enerji $E_{ion}=13.6 \text{ eV}$ -dur. Verilmiş halda olan elektronu atomdan uzaqlaşdırmaq (qoparmaq) üçün lazım olan enerjiyə bu hal üçün *rabitə enerjisi* deyilir. Elektron əsas halda olduqda rabitə enerjisi ilə ionlaşma enerjisi üst-üstə düşür. 1913-1914-cü illərdə C. Frank və H. Hers tərəfindən aparılmış təcrübələr Bor postulatlarının doğruluğunu sübut etdi. Lakin Bor postulatlarının çatışmamazlıqları da var idi. Bu nəzəriyyə ardıcıl kvant nəzəriyyəsi deyildi. Bundan başqa, Bor nəzəriyyəsi mürəkkəb atomların, hətta hidrogen atomunun spektr xətlərinin intensivliyini izah edə bilmədi. Ən əsası, bu nəzəriyyə kovalent rabitədə atomların qarşılıqlı təsirini, bərk cisimlərdə atomlararası qarşılıqlı təsir qüvvələrini tapa bilmir. Bütün bunların hamısı sonradan kvant mexanikası əsasında izah edildi.

§4.4. DAİRƏVİ ORBITLƏRİN KVANTLANMASI

Bora görə, elektron enerji şüalandırmadan və itirmədən stabil orbitlərdə nüvənin ətrafında hərəkət edə bilər. Elektronun istənilən orbitdə enerjisi sabitdir və yalnız orbitini dəyişərsə, yəni bir kvant səviyyəsindən digər kvant səviyyəsinə keçədi baş verərsə bu zaman onun enerjisi dəyişəcəkdir. Bəzən bu səbəbdən təklif etdi ki, elektronun impuls momenti kvantlanmağa bilər və o $h/2\pi$ qiymətinə uyğun tam qiymətlər ala bilər. Müəyyən ϑ sürəti ilə, r radiuslu orbit üzrə hərəkət edən m_e kütləli elektronun impuls momenti L aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$L = m_e v r, \quad (4.7)$$

deməli,

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.8)$$

Burada v_n -elektronun n -ci səviyyədəki sürəti, r_n – n -ci orbitin radiusudur. n ədədi **“baş kvant ədədi”** adlanır. Bəzən fərz etdi ki, elektron nüvə ətrafında təcillə hərəkət edir. Bu təcil Kulon cazibə qüvvəsi hesabına baş verir:

$$F_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2}. \quad (4.9)$$

Burada e – elektronun yükü, Ze – nüvənin yükü, ϵ_0 –elektrik sabitidir.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Kl}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2, \\ k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{Kl}^2.$$

Elektronu orbitdə saxlayan elektrik qüvvəsi, onun kütləsi ilə mərkəzəqəçmə təcilinin hasilinə bərabərdir.

$$F_E = \frac{m_e v_n^2}{r_n} . \quad (4.10)$$

Bor nəzəriyyəsi yalnız bir elektronlu atomlar üçün tətbiq edilir.

Bu səbəbdən digər atomlara Bor nəzəriyyəsini tətbiq etmək üçün atomlar daxilində bir elektron qalanaqədək ionlaşdırılır. Bir elektronlu atoma hidrogen atom, yaxud hidrogenəbənzər atom deyilir. Məsələn, ${}_2\text{He}^+$ (birqat ionlaşmış helium), ${}_3\text{Li}^{++}$ (ikiqat ionlaşmış litium) və s. kimi bir elektronlu ionlara tətbiq oluna bilər. Beləliklə,

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n} \quad (4.11)$$

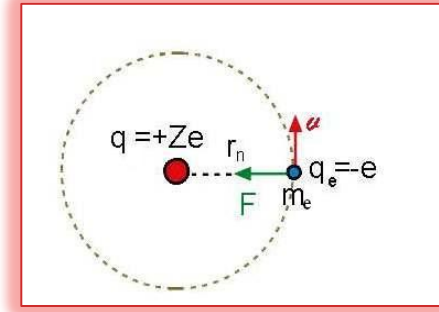
alaraq r_n və v_n üçün (4.8) və (4.11) tənliklərindən istifadə etməklə stasionar orbitdə hərəkət edən elektronun radius və sürətinin ifadələrini aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$r_n = \epsilon_0^2 \frac{n^2 h^2}{\pi m_e Z e^2}, \quad (4.12)$$

və

$$v_n = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Z e^2}{2n\hbar} \quad (4.13)$$

(4.12) ifadəsində $r_0 = \epsilon_0^2 \frac{h^2}{\pi m_e e^2} = 0,53A^0$ olduğundan n -ci orbit üzrə hərəkət edən elektron

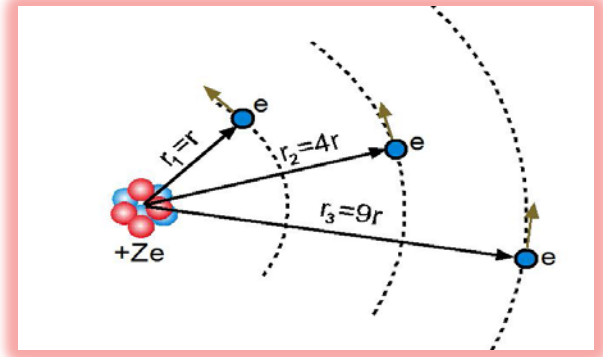


Şəkil 4.6

$$r_n = r_0 \frac{n^2}{Z} \quad (4.14)$$

olacaqdır. Burada $r_n - n$ - ci orbitin radiusudur (şəkil 4.7). Hidrogen atomu üçün $Z = 1$ olduğundan, birinci orbitdə ($n = 1$) hərəkət edən elektronun radiusu $r_0 = 0,53A^0$ olar.

Bu sabit **Borun birinci radiusu** adlanır. Göründüyü kimi, r_0 qiyməti qazların kinetik nəzəriyyəsindən məlum olan atom ölçüləri tərtibindədir (10^{-8} sm).



Şəkil 4.7

Aydındır ki, atomun E_n tam enerjisi elektronun T kinetik enerjisi ilə P potensial enerjiləri cəmindən ibarətdir:

$$E_n = T + P. \quad (4.15)$$

Klassik təsəvvürə görə, kinetik enerjisi

$$T = \frac{1}{2} m_e v_n^2 = \frac{1}{\varepsilon_0^2} \frac{m_e Z^2 e^4}{8n^2 \hbar^2}, \quad (4.16)$$

potensial enerjisi isə

$$P = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} = -\frac{1}{\epsilon_0^2} \frac{m_e Z e^2}{4n^2 h^2} \quad (4.17)$$

ifadəsi ilə verilir. Burada mənfi işarəsi elektronun proton tərəfindən cəzb olunması nəticəsində yaranmışdır. Tam enerji üçün

$$E_n = \frac{1}{\epsilon_0^2} \frac{m_e Z^2 e^4}{8n^2 h^2} - \frac{1}{\epsilon_0^2} \frac{m_e Z e^2}{4n^2 h^2} \quad (4.18)$$

və ya

$$E_n = -\frac{1}{\epsilon_0^2} \frac{m_e Z^2 e^4}{8n^2 h^2} \quad (4.19)$$

ifadəsi alınır. Baş kvant ədədi başlangıç n_i qiymətindən son n_f qiymətinə keçdikdə, enerjinin ΔE dəyişməsinə səbəb olur. (4.19) tənliyindən istifadə edərək ΔE üçün alırıq:

$$\Delta E = E_i - E_f = -\frac{1}{\epsilon_0^2} \frac{m_e e^4}{8n_i^2 h^2} + \frac{1}{\epsilon_0^2} \frac{m_e e^4}{8n_f^2 h^2} \quad (4.20)$$

və ya

$$\Delta E = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right]. \quad (4.21)$$

(4.21) düsturunda tezlikdən dalğa ədədinə keçək:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e Z^2 e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right]. \quad (4.22)$$

(4.22) düsturunun, məlum

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right] \quad (4.23)$$

düsturu ilə müqayisəsindən Ridberq sabitinin dünya sabitləri ilə əlaqəsini tapırıq ($Z=1$ olduqda):

$$R = \frac{m_e e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c}. \quad (4.24)$$

LABORATORİYA İŞİ 7

HİDROGEN ATOMUNUN SPEKTRİNİN TƏCRÜBƏDƏ ÖYRƏNİLMƏSİ

İşin məqsədi: Hidrogen, neon və civə buxarının şüalanma spektrinin öyrənilməsi. Balmer seriyasının görünən oblastındakı dörd xəttin (qırmızı, mavi, açıq bənövşəyi, tünd bənövşəyi) dalğa uzunluğunun hesablanması.

Cihaz və ləvazimatlar: Spektrometr, difraksiya qəfəsi, civə lampası, hidrogen lampası və s.



Mənbə: spektr

<https://edu.az/az/physics>

https://www.youtube.com/channel/UCFK_1ePky5oofOuH94QrAgw

QURĞUNUN TƏSVİRİ:

Qoniometr (spektrometr) spektr şüalarının meyl bucağını, prizmanın sındırıcı bucağını və işığın digər xüsusiyyətlərini ölçmək üçün istifadə olunan bir cihazdır. Bu cihaz ağır üçayaqlı ştativdən, dərəcələlərə bölünmüş dairəvi lövhədən (diskdən), okulyar qarşısında çarpaz teli olan baxış borusundan, kollimatordan və masadan ibarətdir. Disk, baxış borusu və masa cihazın əsas oxu ətrafında fırlana bilər. Masa diskdən bir qədər yuxarıda yerləşir. Spektrometrin istifadə olunan mühüm hissələri şəkil 4.8-də göstərilmişdir.

Balmer seriyasını öyrənən qurğu əsas üç hissədən ibarətdir: *kollimator, difraksiya qəfəsi* və *teleskop*.

Vernier masa:

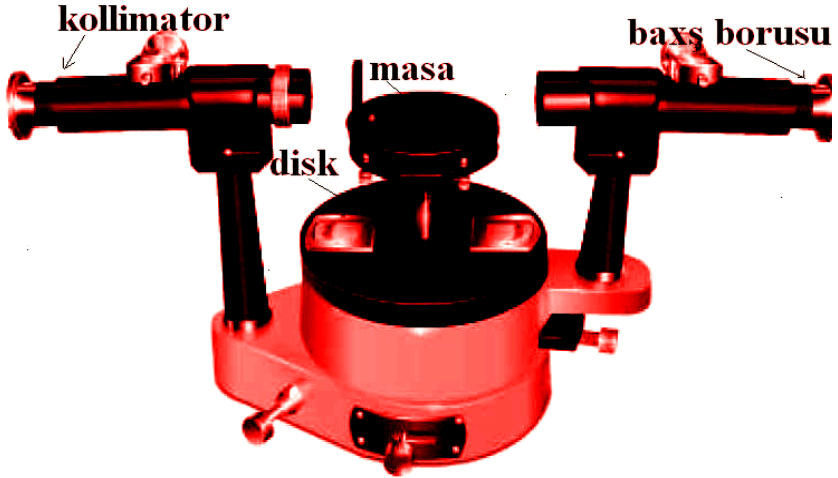
Əsas etibarlı ilə üç qurğu vint ilə bir-birinə birləşdirilmiş iki dairəvi lövhədən ibarətdir. d baxış borusu və K kollimatoru fokus məsafələri eyni olan obyektivlərə malikdir.

Kollimator:

Kollimatorun ucuna bir tərəfində yarığı olan borucuq taxılmışdır. Bu yarığın enini xüsusi mikrometrik vint vasitəsi ilə böyüdüb-kiçiltmək olur. Kollimator qoniometr masasına qoyulmuş cismə (obyektə) paralel işıq şüa dəstəsi vermək üçündür. Ona görə də onun yarığı obyektivin fokal müstəvisində saxlanılır. Baxış borusu dirsəyilə birlikdə şaquli ox ətrafında üfiqi müstəvi boyunca fırlana bilir. Baxış borusunun okulyarı, qısa boruya xüsusi şəkildə yerləşdirilmiş iki linzadan ibarət sistemdir.

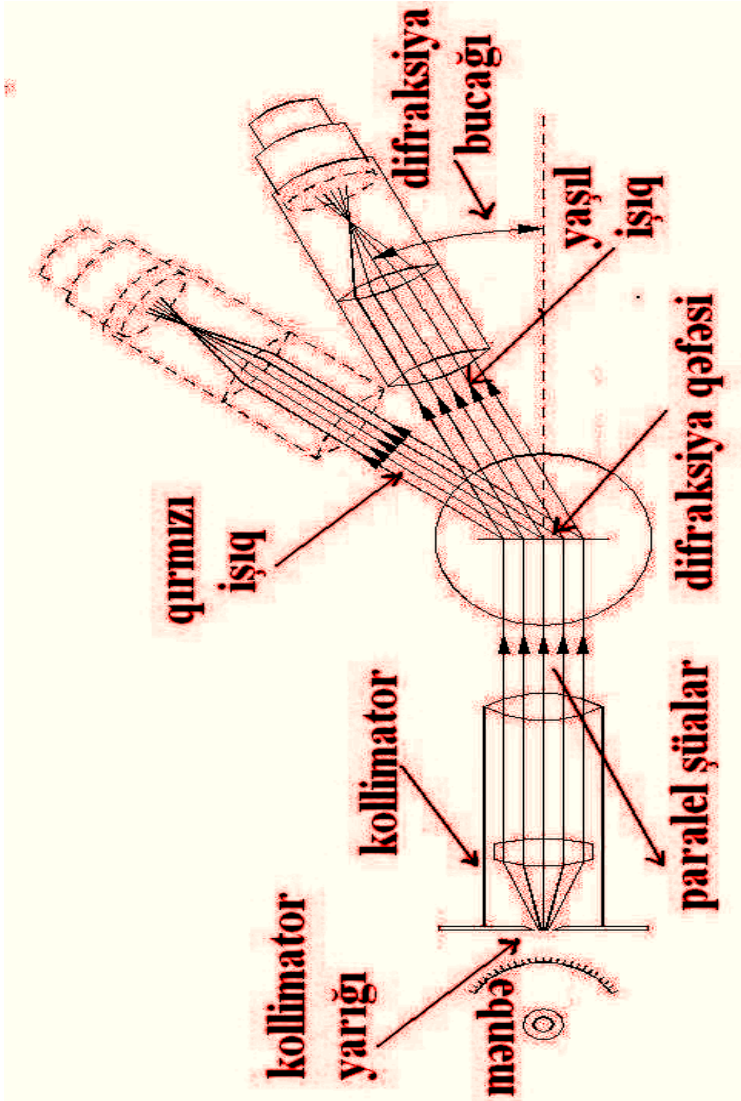
Teleskop. Real görüntü teleskopun okulyarının köməyi ilə müşahidə edilə bilər.

Bu təcrübədə spektrlərin öyrənilməsi üçün difraksiya qəfəsinin optik spektrometrdən istifadə olunur. Difraksiya qəfəsi işığın dalğa uzunluğunun ölçülməsi üçün ən yaxşı vasitədir.



Şəkil 4.8. Balmer seriyasını təyin edən Qoniometr

İşıq mənbəyi kollimator yarığında müəyyən məsafədə yerləşir. Atom və ionun həyəcanlaşması zamanı, onlar müəyyən tezlikli şüalar buraxır. Deməli, şüalanmanın baş verməsi üçün hidrogen mənbəyi elektrik şəbəkəsinə qoşulur. Bu zaman şüa dəstəsi kollimator vasitəsi ilə difraksiya qəfəsinin üzərinə düşür. Kollimator vasitəsilə işıq paralel şüalara çevrilir. Analiz olunan işıq şüaları ensiz dar yarıqdan keçərək paralel xətlər halına salınır və uzununa tənzimlənə bilən spektrometrə daxil olur.



Bu, uzununa kəsik kollimatorun fokal müstəvisində yerləşdirilir. Şüalar difraksiya qəfəsini işıqlandırır, belə ki, bütün işıq şüaları eyni bucaq altında qəfəsə düşür. Bu zaman dalğa uzunluqları difraksiya qəfəsi vasitəsilə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\lambda = \frac{\sin\theta}{mn}, \quad (4.25)$$

burada n – Imm -ə düşən xətlərin sayı, m - difraksiya maksimumunun misli olub $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ tam qiymətlər alır, θ isə difraksiya bucağıdır.

Verilən rənglərin şüaları müəyyən bucaqlarda difraksiyaya uğrayır. Məsələn, uzununa yaşıl mənzərə bir bucaqda formalaşır, qırmızı mənzərə isə başqa bir bucaqda formalaşa bilər. Teleskopun fırlanan qolu vasitəsilə fırlanma bucağı dəqiq ölçülə bilər. Belə ki, qoniometr adlanan bu cihaz spektr xəttinin difraksiya bucağını ölçür. Teleskopun qolları döndərilərək müxtəlif rənglərin uzununa kəsiklərinin mənzərəsi müşahidə edilir və okulyarla böyüdülərək onlara uyğun difraksiya bucaqları ölçülür.

Bu eksperimentdə, (4.25) ifadəsindən λ -ni təyin etməklə (4.23) düsturundan R təyin olunur. Görünən interval üçün Balmer seriyasında $n_i = 2$ - dir və n_f -nin qiymətləri müşahidə olunan spektral mənzərədən götürülür. Balmer seriyasının qırmızı xətti üçün $n=3$, mavi xətti üçün $n=4$, bənövşəyi xətti üçün isə $n=5$ qiymətləri alınır.

VIRTUAL LABORATORİYA İŞİNİN APARILMA ARDICILIĞI:

1. “Calibrate Telescope” -nün altındaki pəncərə aktivləşənədək sürüngəc hərəkət etdirilir, aktivləşmə anında ‘START’ düyməsi basılır.
2. Lampanı seçmək üçün “Combo” çərçivəsindən istifadə edilir, sonra isə “Switch On” düyməsi aktivləşdirilir.
3. Hər bir sürüşkən vasitəsilə vernier masasının göstəricisini “0⁰”-yə, teleskopu isə 90⁰ -yə çevirməli.
4. “Place grating” düyməsini sıxmalı.
5. Teleskop sola döndərilir. Modeldə yaşıl xəttlə şaquli naqıl üst-üstə düşməlidir.
6. Vernier 1 və vernier 2-nin göstəricilərini qeyd etməli.
7. Teleskop birbaşa təsvirin sağ tərəfinə dönür və bu zaman şaquli naqıl modelin yaşıl xətti ilə üst-üstə düşür.
8. Vernier 1 və vernier 2 - nin göstəriciləri qeyd olunur.
9. Göstəriciləri daha dəqiq etmək üçün sürüşkən elementi “Fine angle” (ən yaxşı bucaq) üzərinə sıxmalı.
10. Bu fərqi əsas qiyməti 2θ -ya bərabərdir. Bu da difraksiyanın ikiqat bucağıdır. Buradan θ -nin qiyməti yaşıl xəttə uyğundur.
11. Fərz etsək ki, yaşıl xəttin dalğa uzunluğu 546 nm-dir, 1mm-ə düşən xətlərin sayı $n = \frac{\sin\theta}{m\lambda}$ tənliyi ilə hesablanır.

Emission Spectra

Variables

Select Lamp :

Change Angle :

Telescope 108

Vernier Table 15.3

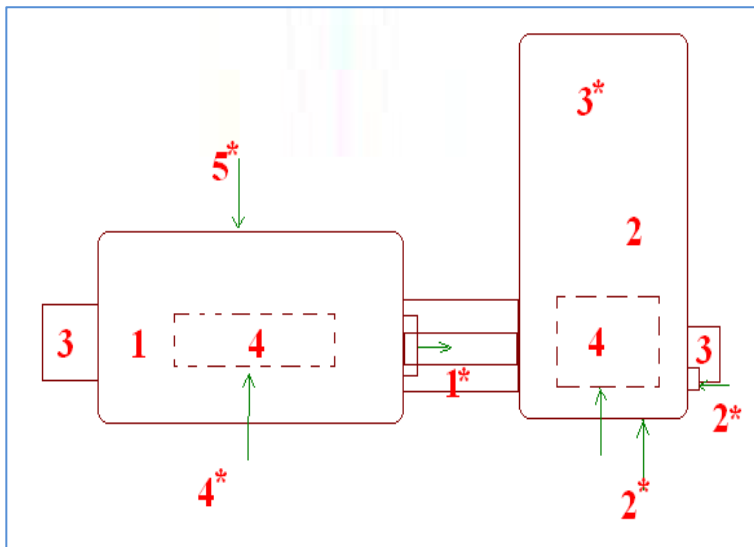
Fine Angle: Telescope 12

Zoom

<http://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=195&sim=359&cnt=4>

REAL LABORATORİYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

- 1.** Qurğunun prinsipial sxemi və monoxromatorun işləmə prinsipilə (şəkil 4.8) tanış olmalı.
- 2.** Şüalandırıcı qurğunu (hidrogen lampasını) şəbəkəyə qoşaraq “Сеть” açarını işçi vəziyyətinə gətirməli.
- 3.** Hidrogen lampasını işə salmaq üçün parlaqlıq dəstəyini saat əqrəbi istiqamətində fırlatmaqla, lampanın parlaq işıqlanmasına nail olmalı və lampanın normal rejimə düşməsi üçün 3-5 dəqiqə gözləməli.
- 4.** Monoxromatorun barabanının vəziyyətini dəyişməklə, onun okulyar üzərində Balmer seriyasının görünən intervalındakı 4 xəttin kəskin və aydın xəyalını almalı (lampanın şüalanma intensivliyini artırıb-azaltmaq olar).
- 5.** Barabanın dərəcələnmə əyrisinə əsasən spektral xətlərin dalğa uzunluqlarını tapmaq olar. Hidrogen atomu üçün dalğa uzunluqlarının qiymətlərini taparkən Ridberq sabiti üçün $R=109677,537 \text{ sm}^{-1}$ qiymətini götürməli.
- 6.** Təcrübədən alınan spektral xətlərin dalğa uzunluğunu, nəzəriyyədən alınan dalğa uzunluğu ilə müqayisə etməli.
- 7.** İşin nəzəri hissəsini dərinədən mənimsəmək üçün yuxarıda verdiyimiz qısa nəzəri məlumatdan istifadə etmək olar.



Şəkil 4.8. Qurğunun sxematik təsviri.

1. 1 – şüalandırıcı (hidrogen lampası);
2. 2 – monoxromator; 3 – rels; 4 – idarəedici vintlər;
3. 1* –şüalanmanın istiqaməti; 2* –müşahidə istiqaməti;
4. 3* –FPK09M.00.00.00.01 nömrəli dayanacağı, FDCB01.02.00.00.00 nömrəli ştativlə yeri; (ştativ monoxromatorun ortasında olur);
5. 4* monoxromatorun korpusunun oturacağında PK09M.01.00.00.00 bu nömrəli dayağın yeri;
6. 5* –şüalandırıcının nizamlaşdırma vinti.

LABORATORİYA İŞİ 8

RİDBERQ SABİTİNİN

VƏ ELEKTRONUN KÜTLƏSİNİN TƏYİNİ

İşin məqsədi: Ridberq sabitinin və elektronun kütləsinin təyini.

Cihaz və ləvazimatlar: Spektrometr, difraksiya qəfəsi, cive lampası, hidrogen lampası və s.



Mənbə: Ridberq sabiti

<https://edu.az/az/physics>

https://www.youtube.com/channel/UCFK_lePky5oofOuH94QrAgw

QURĞUNUN TƏSVİRİ

Qurğunun təsviri yuxarıda göstərilən 7-ci laboratoriya işindəki kimidir.

Balmer seriyasının qırmızı xəttinə $n=3$, mavi xəttinə $n=4$, bənövşəyi xəttinə $n=5$ qiymətlər uyğun gəlir. Bunları (4.23) düsturunda nəzərə alsaq,

$$R_1 = \frac{36}{5\lambda_q}, \quad R_2 = \frac{36}{5\lambda_q}, \quad R_3 = \frac{36}{5\lambda_q}. \quad (4.26)$$

olar. Spektrdəki xətlərin dalğa uzunluğunu təcrübi yolla təyin etməklə R -i hesablamaq olar. Xətlərin dalğa uzunluqları difraksiya qəfəsi vasitəsilə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\lambda = \frac{\sin\theta}{mn} \quad (4.27)$$

VIRTUAL LABORATORIYA İŞİNİN APARILMA ARDICILIĞI:

1. İşin prinsipal sxemi ilə tanış olun. Işıq şüasının difraksiya qəfəsi üzərinə düşməsinə təmin edir;
2. 7-ci virtual laboratoriya işində olduğu kimi proses təkrarlanır.
3. Ekran üzərində alınmış spektrdə ekranın mərkəzindən saymaqla dalğa uzunluğu təyin olunan qırmızı, mavi və bənövşəyi rənglərin yerləşdiyi zolağın nömrəsini ($m-i$) qeyd etməli.
4. Teleskopun qolunu sağa və sola fırlatmaqla vernier 1 və vernier 2-ə uyğun dərəcə müəyyən etməli və hər bir rənglərə uyğun dalğa uzunluqları (qırmızı, mavi, açıq bənövşəyi, tünd bənövşəyi) taparaq aşağıdakı cədvəldə yazmalı.

Xətlərin adı	Simvol	Dalğa uzunluqları	n_f	n_i	R
Balmer Alfa	H_α	Qır. ~ 656.28 nm	2	3	R
Balmer Beta	H_β	Mavi. ~ 486.13 nm	2	4	R
Balmer Qamma	H_γ	Açıq b. ~ 434.05 nm	2	5	R
Balmer Delta	H_δ	Tünd b. ~410.17 nm	2	6	R

5. (9) düsturuna əsasən, λ_q , λ_m , λ_b dalğa uzunluqlarını hesablamalı;
6. Hesablanmış dalğa uzunluqlarını uyğun olaraq (4.23) düsturunda yazıb Ridberq sabitini hesablamalı;
7. Alınmış nəticələrə əsasən $\langle R \rangle$ -in təyin olunması zamanı buraxılan mütləq və nisbi xətanı hesablamalı.

REAL LABORATORİYA İŞİNİN APARILMA ARDICILLIĞI:

1. İşin prinsipial sxemi ilə tanış olun. Elektrik naqilini dəyişən cərəyan mənbəyinə qoşaraq, işıq şüasının difraksiya qəfəsi üzərinə düşməsinə təmin edin;
2. Monoxromatorun barabanını sağa və sola fırlatmaqla dərəcələnməyə uyğun olaraq hər bir rənglərə müvafiq uzunluqları (qırmızı, mavi, açıq bənövşəyi, tünd bənövşəyi) taparaq aşağıdakı cədvəldə yazın.

Barabanın dərəcəsi	Simvol	Dalğa uzunluqları	n_f	n_i	R
2250	H_α	Qır. ~ 656.28 nm	2	3	R
1275	H_β	Mavi. ~ 486.13 nm	2	4	R
900	H_γ	Açıq b. ~ 434.05nm	2	5	R
800	H_δ	Tünd b. ~410.17 nm	2	6	R

3. $\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right]$ düsturuna əsasən Ridberq sabitinin qiymətini tapın.
4. Ridberq sabitini hesablayarkən nəzərə almaq lazımdır ki, Balmer seriyasının aşağı sərhəddi üçün həmişə $n_f = 2$ – dir. $n_i = 3, 4, 5, \dots, \infty$ qiymətlərini alır.
5. Uyğun dörd dalğa uzunluğu üçün R – Ridbeq sabitini hesablayıb orta qiyməti taparaq nəzəri qiymətlə müqayisə edin.

$$R_i = \frac{1}{\lambda_i \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)} \quad (n=3,4,5,6).$$

6. Ridberq sabiti üçün (4.23) düsturundan istifadə edib, elektronun m_e kütləsini hesablayın:

$$m_e = \frac{R_{tec} \cdot h^3 c}{2\pi^2 e^4}$$

Mövzuya aid testlər

1. Rabitə enerjisi ilə ionlaşma enerjisi nə zaman üst-üstə düşür?

- A. elektron həyəcanlaşmış halda olduqda
- B. rabitə enerjisi ilə ionlaşma enerjisi heç bir halda üst-üstə düşmür
- C. elektron əsas halda olduqda
- D. rabitə enerjisi ilə ionlaşma enerjisi bütün hallarda üst-üstə düşür.

2. Hidrogen atomunun spektrləri üçün ümumiləşmiş Balmer düsturu hansı ifadə ilə verilir?

- A. $\tilde{\nu} = \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ($m = 1, 2, \dots; n = m + 1, m + 2, \dots$)
- B. $\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ($m = 1, 2, \dots; n = m + 1, m + 2, \dots$)
- C. $\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{m^3} - \frac{1}{n^3} \right)$ ($n = 3, 4, \dots, \infty; n = m + 1, m + 2, \dots$)
- D. $\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$ ($m = 1, 2, \dots; n = m + 1, m + 2, \dots$)

3. Dalğa ədədinin ifadəsi hansıdır?

- A. $\check{\nu} = \frac{c}{\lambda}$
- B. $\check{\nu} = \frac{1}{\lambda}$
- C. $\check{\nu} = \frac{c}{h\lambda}$
- D. $\check{\nu} = \frac{hc}{\lambda}$

4. Ritsin kombinasiya prinsipinə görə, Balmer seriyasının birinci iki spektral xəttinin dalğa ədədlərinin fərqi hansı seriyanın spektral xəttinin dalğa ədədini verir?

- A. Paşen seriyasının
- B. Layman seriyasının
- C. Balmer seriyasının
- D. Pfund seriyasının

5. Hidrogen atomunun spektrində Paşen seriyası hansı ifadə ilə verilir? (R – Ridberq sabitidir).

A. $\tilde{\nu} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 4,5,6,\dots\infty)$

B. $\tilde{\nu} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 3,4,5,\dots\infty)$

C. $\tilde{\nu} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 5,6,7,\dots\infty)$

D. $\tilde{\nu} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 6,7,8,\dots\infty)$

6. Aşağıdakı seriyaların spektral xətləri spektrin hansı hissəsində yerləşir?

- A. Layman seriyasının xətləri görünən, Breket seriyasının xətləri isə infraqırmızı oblastda
- B. Balmer seriyasının xətləri görünən və ultrabənövşəyi, Pfund seriyasının xətləri isə görünən oblastda
- C. Layman seriyasının xətləri ultrabənövşəyi, Paşen seriyasının xətləri isə infraqırmızı oblastda
- D. Brekket seriyasının xətləri ultrabənövşəyi, Pfund seriyasının xətləri isə infraqırmızı oblastda

7. Spektral seriya aşağıdakı kimi təyin olunur:

- A. düzülüşündə və intensivliklərinin paylanması müəyyən qanunauyğunluq olan spektral xətlər toplusu
- B. yalnız intensivliklərinin paylanması müəyyən qanunauyğunluq olan spektral xətlər toplusu
- C. yalnız düzülüşündə müəyyən qanunauyğunluq olan spektral xətlər toplusu
- D. ixtiyari spektral xətlərinin toplusu

8. Ritsin kombinasiya prinsipinə görə Layman seriyasının birinci iki spektral xəttinin dalğa ədədlərinin fərqi hansı seriyanın spektral xəttinin dalğa ədədini verir?

- A. Paşen seriyasının
- C. Pfund seriyasının
- B. Brekket seriyasının
- D. Balmer seriyasının

9. Hidrogen atomunun spektrində Balmer seriyası hansı ifadə ilə verilir?

A. $\tilde{\nu} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 3, 4, \dots, \infty$

B. $\tilde{\nu} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 2, 3, \dots, \infty$

C. $\tilde{\nu} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 4, 5, \dots, \infty$

$$D. \tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 5, 6, \dots, \infty$$

10. Ritsin kombinasiya prinsipi hansı nəzəriyyələrə görə izah olunur?

- A. Mahiyyətə doğru prinsip deyildir
- B. Borun yarımkvant nəzəriyyəsinə görə
- C. Yalnız klassik fizikaya görə
- D. Həm kvant və həm də klassik fizikaya görə

11. Atomda elektronlar hansı orbitlər boyunca hərəkət edə bilər?

- A. Nüvəyə yaxın orbitlər boyunca
- B. Yalnız dairəvi orbitlər boyunca
- C. Hərəkət miqdarı momentinin kvantlanmış qiymətlərinə uyğun orbitlər boyunca
- D. İstənilən orbit boyunca

12. Hidrogen atomunun birinci Bor orbitində elektronun enerjisi nəyə bərabərdir?

- A. -6 eV
- B. -20 eV
- C. -11 eV
- D. -13,6 eV

13. Ridberq sabiti hansı düsturla təyin olunur?

- A. $R = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3 c}$
- B. $R = \frac{4\pi m Z^2}{nh}$
- C. $R = \frac{2\pi m^2 Z^2 e^4}{nh}$
- D. $R = \frac{8\pi^2 m Z^2 e^4}{n^2 h^2}$

14. Hidrogen atomunun spektrində ulturabənövşəyi obastda hansı seriyanın xətləri yerləşir?

- A. Balmer seriyasının
- B. Layman seriyasının
- C. Paşen seriyasının
- D. Pfund seriyasının

15. Hidrogen atomunun birinci Bor orbitasının radiusu nəyə bərabərdir ($1\text{Å} = 10^{-8}\text{ sm}$)?

- A. $0,53\text{Å}$
- B. $1,5\text{Å}$
- C. 1Å
- D. 2Å

16. Hidrogen və hidrogenəbənzər atomlarda Bor nəzəriyyəsinə görə radiuslar hansı ifadə ilə təyin olunur?

- A. $r_n = \frac{mZe}{n\hbar}$
- B. $r_n = n \frac{\hbar^2}{mZ^2e^2}$
- C. $r_n = n^3 \frac{\hbar^2}{mZe^2}$
- D. $r_n = n^2 \frac{\hbar^2}{mZe^2}$

17. Bor nəzəriyyəsinə əsasən hidrogen və hidrogenəbənzər atomlarda enerji üçün alınan ifadə necədir?

- A. $E_n = -\frac{m^2Z^2e^2}{2n^2\hbar^2} \quad n = 1,2,\dots,\infty$
- B. $E_n = \frac{mZ^2e^4}{2n^2\hbar^2} \quad n = 1,2,\dots,\infty$

$$C. E_n = -\frac{mZ^2 e^4}{2n^2 \hbar^2} \quad n = 1, 2, \dots, \infty$$

$$D. E_n = -\frac{mZ^2 e^3}{n^3 \hbar^3} \quad n = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

18. Dairəvi orbitlər üçün kvantlanma şərti hansı ifadə ilə verilir?
(M – hərəkət miqdarı momentidir)

$$A. M \equiv p_\varphi = n\hbar^2 \qquad B. M \equiv p_\varphi = n^2\hbar$$

$$C. M \equiv p_\varphi = (n+1)\hbar \qquad D. M \equiv p_\varphi = n\hbar$$

19. «Hidrogenəbənzər» atom dedikdə nə nəzərdə tutulur?

A. $+Ze$ yükünə malik olan nüvədən və bir elektrondan ibarət sistem

B. $+Ze$ yükünə malik olan nüvədən və Z elektrondan ibarət sistem

C. $+Ze$ yükünə malik olan nüvədən və $(Z-1)$ elektrondan ibarət sistem

D. kimyəvi xassələri hidrogen atomunun xassələrinə oxşar atom sistemləri

20. Plank sabiti \hbar

A. təsirin kvantıdır.

B. elektromaqnit qarşılıqlı təsirin kvantıdır

C. zəif qarşılıqlı təsirin kvantıdır

D. güclü qarşılıqlı təsirin kvantıdır

21. Hidrogen atomu birinci enerji səviyyəsindən üçüncü enerji səviyyəsinə keçir. Belə atomun şüalanma spektrində neçə xətt müşahidə etmək olr?

A. 1

B.2

C.3

D.4

22. Hidrogen atomu $n=4$ baş kvant ədədi ilə xarakterizə olunan həyəcanlaşmış haldadır. Hidrogenin spektrində atomun həyəcanlaşmış haldan əsas hala keçid zamanı meydana çıxan mümkün spektral xətlərin sayını müəyyən edin.

A. 2

B.3

C.4

D.6

TESTİN DÜZGÜN CAVABLARI

1.C 2.B 3.B 4.A 5.A 6.C 7.A 8.D 9.A 10.B 11. C
12.A 13.A 14.B 15. A 16.D 17.C 18.D 19.A 20.A 21.B 22.D

Yoxlama sualları

1. Rabitə enerjisi ilə ionlaşma enerjisi arasında hansı fərq var? Nəyə görə onlar bütün hallarda üst-üstə düşmür?
2. Hidrogen spektrinin görünən hissəsindəki xətlərin dalğa uzunluqları üçün hansı qanunauyğunluq vardır?
3. Hidrogen spektrinin ultrabənövşəyi hissəsində hansı seriya mövcuddur ($n_1 = ?$, $n_2 = ?$)?
4. Hidrogen spektrinin infraqırmızı hissəsində hansı seriyalar vardır?
5. Borun birinci postulatı necədir?
6. Borun ikinci postulatı necədir?
7. Borun kvantlanma şərti hansıdır?
8. Bor postulatları nəyi izah edir?

LABORATORİYA İŞİ 9

FRANK VƏ HERS TƏCRÜBƏLƏRİ

İşin məqsədi: Atomun diskret enerji səviyyələrinin mövcudluğunu, I həyəcanlaşma potensialını və enerjinin qiymətini təyin etmək.

Cihaz və ləvazimatlar: İçərsinə təsirsiz qaz doldurulmuş üç elektrodlu elektron lampası, universal voltmetr, ampermetr.



Mənbə: Frank və Hers təcrübəsi

<https://sdu.edu.az/az/physics>

https://www.youtube.com/channel/UCFK_lPky5oo_fOuH94QrAgw

QISA NƏZƏRİ M ƏLUMAT:

Atomların diskret hallara malik olması haqqında təcrübələr ilk dəfə 1914-cü ildə Ceyms Frank və Qustav Hers tərəfindən aparılmışdır. Onların ilk məqsədi atomların ionlaşma potensiallarını ölçməkdən ibarət idi. Lakin təcrübələr zamanı Frank və Hers Bor postulatlarının eksperimental təsdiq edilməsinə, yəni daha mühüm bir məsələnin həllinə nail oldular. 1925-ci ildə Nobel mükafatı alan Frank və Hers əldə etdikləri nəticələr ilə atomun quruluşu haqqında N. Borun 1913-cü ildə verdiyi nəzəriyyəni təcrübi olaraq təsdiq etdilər.

Frank və Hers təcrübələrini şərh etməzdən əvvəl müxtəlif enerjiyə malik elektronların civə atomları ilə toqquşmasını nəzərdən keçirək. Civə atomları kimi ağır atomlarda daxili orbit elek-

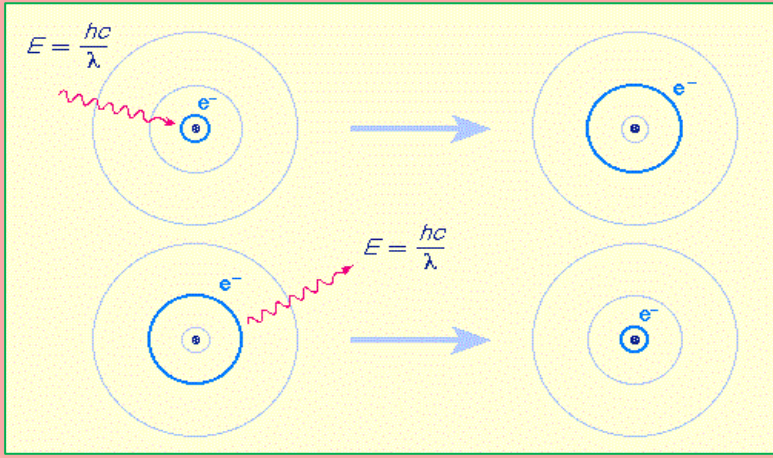
tronları ilə nüvə arasında çox böyük cazibə qüvvələri təsir etdiyindən onları atomdan uzaqlaşdırmaq (qopartmaq) çətindir. Bu elektronların rabitə enerjisi bir-neçə min elektron-volta (eV) çatır. Xarici (valent) elektronlar isə nüvə ilə zəif bağlıdırlar, çünki onlar həm nüvədən uzaqda yerləşir, həm də daxili orbit elektronlarının ekranlayıcı təsirinə məruz qalırlar. Ona görə də, valent elektronların rabitə enerjisi bir-neçə elektron-voltur. Frank və Hers təcrübələrində yalnız valent elektronları iştirak edir. Civə atomunda valent elektronun enerjisi $E_V = -10,42 eV$ –dur. Birinci həyəcanlanma halının enerjisi isə $E_h = -5,54 eV$ –dur. Elektronun əsas haldan birinci həyəcanlanma halına keçməsi üçün lazım olan enerji

$$E_e = E_h - E_V = -5,54 - (-10,42) = 4,88eV$$

olar. Bu enerjiyə civə atomunun ***birinci böhran enerjisi*** deyilir. Əgər hər hansı bir səbəb üzündən civə atomu birinci həyəcanlanma halına keçərsə, çox kiçik zaman intervalından sonra $\sim 10^8$ san elektron əsas hala qayıdır və bu zaman enerjisi $E_e = 4,88eV$, dalğa uzunluğu isə

$$\lambda = \frac{hc}{E_e} = 2536A^{\circ}$$

olan foton şüalandırır. Beləliklə, şəkil 4.9-da görüldüyü kimi, elektron atomun aşağı enerji səviyyəsindən yuxarı enerji səviyyəsinə keçdikdə $E = hc/\lambda$ enerjili foton udur və yaxud aşağı enerji səviyyəsindən yuxarı səviyyəyə keçdikdə $E = hc/\lambda$ enerjili foton şüalandırır.



Şəkil 4.9. Atomun həyəcanlanmış halları

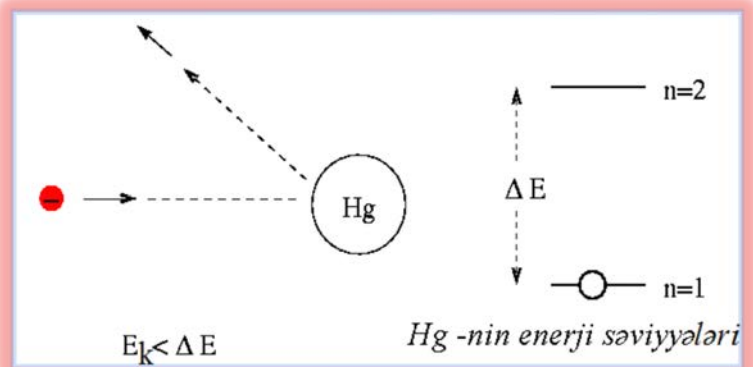
Elektronlarla atomun toqquşması prosesinə əsaslanan bu təcrübənin ideyası belədir: əgər atomun halları doğrudan da diskretdirsə, yəni onun enerjisi doğrudan da seçilmiş E_1, E_2, E_3, \dots qiymətlər alırsa, onda verilmiş stasionar halda, məsələn, E_1 enerjili əsas halda olan atomu növbəti E_2 enerjili stasionar hala gətirmək üçün ona kənardan həmin stasionar halların enerjiləri fərqi

$$\Delta E_{21} = E_2 - E_1$$

qədər enerji vermək lazımdır. Başqa sözlə, atomun halları diskretdirsə, onda onun halları istənilən cür dəyişə bilməz. Bu elektronlar qaz atomları ilə toqquşduqda atomlar həyəcanlanmış hallara keçə bilər. Atomların elektron zərbələri ilə həyəcanlandırılması təsirsiz qazlar və metal buxarları üçün xüsusilə əlverişlidir. Çünki bu maddələrin atomları elektrona həris deyildir, yəni bu atomlar elektronu zəbt edərək mənfə ionlar əmələ gətirmirlər. Frank və

Hers öz təcrübələrində civə buxarlarından istifadə etmişlər. Elektron dəstəsi tədqiq edilən qazın daxilindən keçdikdə qaz atomları ilə toqquşmaya məruz qalırlar. Elektronların civə atomları ilə toqquşmaları iki cür – elastiki və qeyri-elastiki baş verə bilər. Əgər civə buxarı nisbətən sıx olarsa, bu zaman elektronlar onun atomları ilə kifayət qədər tez-tez toqquşmalara məruz qalar. Aydınadır ki, bu toqquşmalar zamanı enerjinin saxlanma qanunu ödənilir.

Elastiki toqquşma nəticəsində elektronların sürətlərə görə paylanması (şəkil 4.10) dəyişmir, yəni $E_K < \Delta E_{21}$ olduqda, elektronların sürəti birinci böhran sürətdən kiçik olacaq və atom elektronlardan enerji qəbul edə bilməyəcəkdir, bu zaman elektron yalnız sürətinin istiqamətini dəyişməklə səpilir. Atomun kütləsi elektronun kütləsindən dəfələrlə böyük olduğundan onun vəziyyətində də, demək olar ki, dəyişiklik olmayacaqdır.



Şəkil 4.10. Elektronun civə atomu ilə elastiki toqquşması

Beləliklə, elastiki toqquşma zamanı elektron ilə civə atomu arasında enerji mübadiləsi olmur. Lakin $E_K \geq \Delta E_{21}$ qeyri-

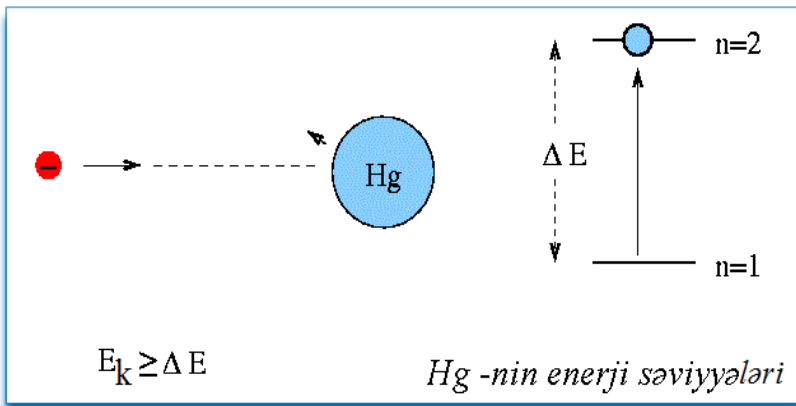
elastiki toqquşmalar zamanı elektronlar öz enerjilərinin bir qismini toqquşduqları atomlara verdiklərindən onların sürətlərə görə paylanması dəyişir, birinci böhran sürətə çatarkən toqquşma qeyri-elastiki olur. Beləliklə, atomla qeyri-elastik toqquşma zamanı elektron atoma yalnız diskret enerjilər verə bilər. Keçid zamanı udulan və ya buraxılan şüanın tezliyi dəqiq müəyyən bir qiymətə malik olub keçid səviyyələrinin enerjiləri fərfinə bərabərdir.

Yəni:

$$h\nu = E_n - E_k \quad (4.1)$$

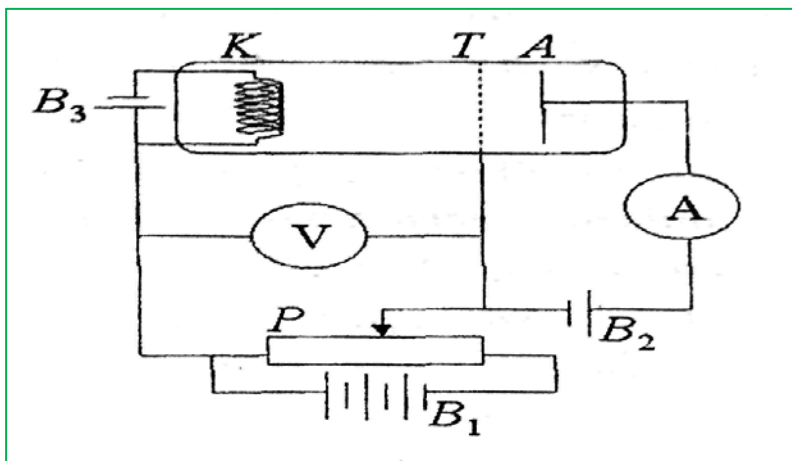
(4.1) ifadəsindən göründüyü kimi fotonun enerjisi atomun mümkün olan iki halının enerjilərinin fərfinə bərabər olan sonlu kəmiyyət qədər dəyişə bilər.

Deməli, atomla qeyri-elastiki toqquşma zamanı elektron atoma yalnız diskret enerjilər verə bilər. Beləliklə, toqquşma zamanı elektronun atoma verdiyi enerjini müəyyən etməklə, atomun stasionar halları arasındakı enerji fərfini tapmaq və bununla da atomun energetik hallarının diskretliyinə əmin olmaq olar. Frank və Hers qeyri-elastiki toqquşmaların olduğunu isbat etmək üçün aşağıdakı qurğudan istifadə etmişdilər. Qurğu içərisində, üç elektrod –Katod (K), tor (T) və anod (A) olan B balonundan ibarətdir. Katod B_3 mənbə vasitəsilə qızdırılır və ondan termo-elektron emissiyası nəticəsində elektronlar çıxır. Bu elektronları sürətləndirmək məqsədilə katodla anod arasında P batareyası vasitəsilə sürətləndirici sahənin V potensialı verilir.



Şəkil 4.11. Elektronun civə atomu ilə qeyri-elastiki toqquşması.

Torla anod arasında isə B_2 mənbəyi vasitəsilə tormozlayıcı sahə (ləngidici) yaradılır. Bu tormozlayıcı potensialın qiyməti $U_T = 0,5 \text{ V}$ –a yaxın olur.



Şəkil 4.12. Frank və Hers təcrübəsinin sxemi

Bu, o deməkdir ki, tordan yalnız $0,5 \text{ eV}$ - dan böyük kinetik enerji ilə keçən elektronlar anoda çatacaqlar. Bu, dövrdə G qalvanometri ilə qeyd olunan J cərəyanının yaranmasına səbəb olur.

Balonun içərisində elektrodlar elə yerləşdirilir ki, elektronların civə atomu ilə toqquşması ancaq katod ilə tor arasında baş versin. T toru bilavasitə A lövhəsinin qarşısında yerləşdirilir. Torun vəzifəsi qeyri-elastiki toqquşmalar nəticəsində təxminən bütün enerjisini itirmiş elektronları tutub saxlamaqdır. Bildiyimiz kimi, elektronların civə atomları ilə toqquşmasında elektronların kinetik enerjiləri xüsusi rol oynayır. Bu o deməkdir ki, təcrübədə elektronların kinetik enerjilərini tənzimləmək lazımdır. Bunun üçün təcrübü qurğu aşağıdakı əsas tələbi ödəməlidir.

Xarici sürətləndirici potensialının köməyi ilə, elektronlara əvvəlcədən məlum olan istənilən sürət vermək mümkün olmalı və elektron mənbələri başlanğıc sürətlərin paylanma qanunu ilə təyin olunan kifayət sayda yavaş elektronlar verə bilməlidirlər. Sürətlənmiş elektronlar tədqiq olunan atom və molekullarla cihazın müəyyən yerində toqquşmalıdırlar.

Göstərilən tələbləri ödəyən yavaş elektronlar dəstəsi almaq üçün yalnız isti katodlardan istifadə edilir. Bu katodlardan alınmış külli miqdarda elektronlar, katoda verilmiş, ixtiyari şəkildə dəyişə bilən V potensialı vasitəsi ilə sürətləndirilir. Aydın ki, torun sahəsində elektronlar tərəfindən əldə edilən bu enerji elektronların birbaşa olaraq kinetik enerjilərinin artmasına səbəb olur.

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = eU$$

Təcrübədə elektronların kinetik enerjilərini tənzimləmək üçün katodun qarşısındakı T torundan istifadə olunur. T –toruna, K katodunun potensialına bərabər potensial verilir. Sonra bu, V potensialı P potensimetri vasitəsilə artırılır. Aydınır ki, V potensialının qiymətindən asılı olaraq,

$$\frac{m\vartheta^2}{2} \geq \frac{eV_T}{300}$$

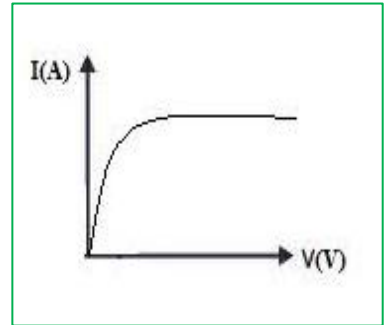
şərtini ödəyəcək. Buradan

$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^7 \text{SQSM} \cdot q^{-1}$$

qəbul edərək,

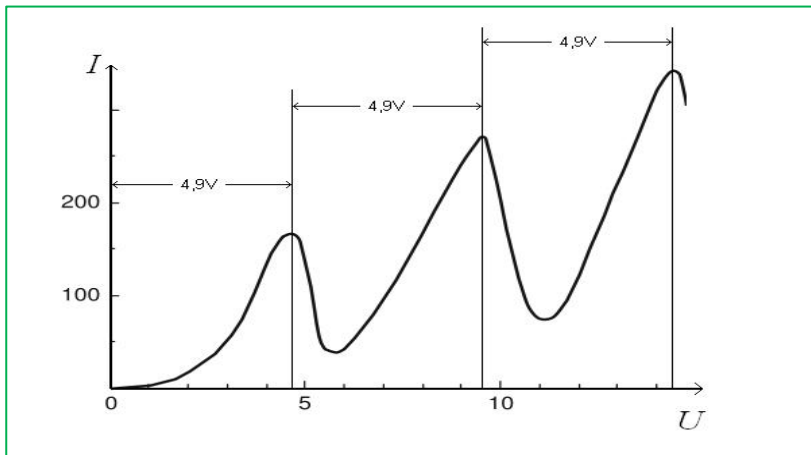
$$\vartheta = \sqrt{\frac{2eV_T}{300m}} = 5,93 \cdot 10^7 \sqrt{V_T} \frac{\text{sm}}{\text{san}}$$

ifadəsini alırıq. Bu munasibətdən görünür ki, torun potensialını artırmaqla elektronların kinetik enerjisini artırmaq olar. Beləliklə, sürətləndirici potensial $1V$ olduqda elektronların sürətləri təxminən $6 \cdot 10^7 \text{sm/san}$ olur. Buradan görünür ki, “yavaş elektronlar” anlayışı tamamilə nisbi mənə daşıyır. Şəkil 4.12-də təsvir edilmiş balonun içərsində vakuum olsaydı, J cərəyanının V potensialından asılılığı şəkil 4.13-də olduğu kimi olmalı idi.



Şəkil 4.13.

Cərəyan $3/2$ qanunu üzrə əvvəl artır, sonra potensialın artmasından asılı olmayaraq, eyni bir qiymətə – doyma qiymətinə çatmalı idi. Təcrübə isə cərəyan şiddətinin V potensialdan asılılığını şəkil 4.14 - da olduğu kimi verir.



Şəkil 4.14. Cərəyanın gərginlikdən asılılıq qrafiki

Şəkildən görüldüyü kimi, civə atomları üçün əyri, bir-birindən $4,9V$ məsafədə yerləşmiş bir sıra iti maksimumlardan ibarət olur. Gərginlik $4,9V$ olduqda cərəyan şiddəti kəskin azalır, sonra gərginlik artdıqca yenidən artır və gərginlik $9,8V$ -a çatdıqda cərəyan yenidən kəskin azalır və bu mənzərə $14,7 V$ - da yenidən baş verir. Diqqəti cəlb edən əsas cəhət odur ki, əyri təkrar olunan kəskin maksimumlara malikdir və həmin maksimumlar bir-birindən eyni məsafədə yerləşirlər, daha dəqiq desək, istənilən iki ardıcıl maksimum arasındakı məsafə $4,9 V$ - a bərabərdir.

Nə qədər ki, elektronun kinetik enerjisi $eU=4,9eV$ dan kiçikdir elektronlarla civə atomları arasındakı toqquşma elastik xarakterdə olur. Civə atomlarının kütləsi elektronların

kütləsindən çox böyük olduğundan bu toqquşmada elektronun enerjisi, demək olar ki, dəyişmir və onlar tordan keçərək anoda çatıb cərəyan yaradırlar. Tor ilə anod arasındakı $0,5V$ -a bərabər olan ləngidici potensial belə enerjili elektronların anoda çatmasına mane olmur. U - nun artması ilə bu cür elektronların sayı artır və beləliklə, dövrdə cərəyan şiddəti artır. Sürətləndirici potensial $4,9 V$ - a çatdıqda elektronların civə atomları ilə toqquşması qeyri-elastiki olur və elektron civə atomu ilə toqquşduğu zaman öz enerjisini tamamilə onlara verir. Civə atomu elektronun malik olduğu enerjiden $4,9eV$ qədərini alır, elektronun sürəti azalır, ləngidici gərginliyi keçə bilmir və anoda çatmır. Çünki onlar $+0,5V$ qədər yüklənmiş T toru tərəfindən tutulur və nəticədə cərəyan kəskin düşür.

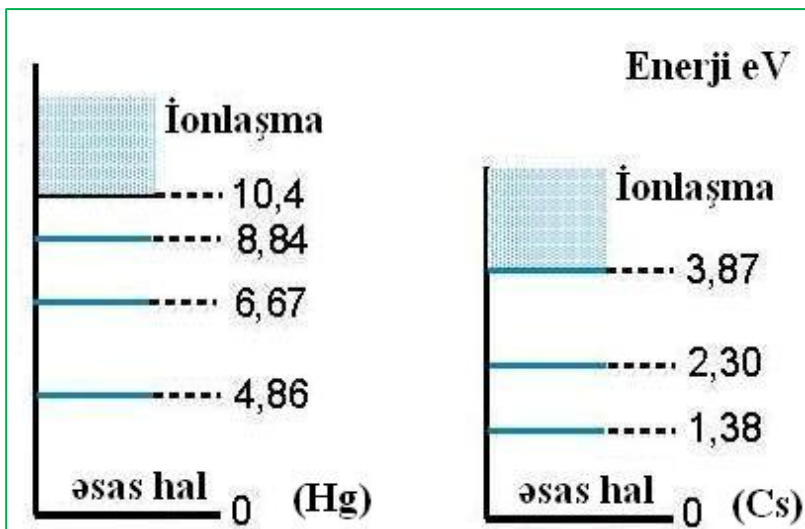
Potensiallar fərqinin sonrakı artımında toqquşma nəticəsində enerjisini qismən və ya tamamilə itirmiş elektronlar yenidən sürətlənir, onların bir qismi yuxarıda göstərdiyimiz qaydada tordan keçib anoda çatır və dövrdə yenidən cərəyan artmağa başlayır. Potensiallar fərqinin $9,8V$ qiymətində birinci toqquşmaya uğramış elektronların bir qismi yenidən $4,9eV$ yaxud ondan böyük enerjiyə malik olur. Yenidən qeyri-elastiki toqquşma baş verir. Bu volt-ampere xarakteristikasında ikinci maksimumun meydana gəlməsinə səbəb olur. Gərginliyin daha böyük qiymətlərində elektronların atomlarda üçqat, dörd qat və s. toqquşmaları da baş verə bilər. Buradan belə çıxır ki, civə atomu $4,9eV$ - dan kiçik enerjini qəbul etmir, bundan böyük enerjiləri isə tam qəbul edir. Məsələn, civə atomu $5,2eV$ enerjinin yalnız $4,9eV$ - nu qəbul edir. Buradan belə nəticə çıxır ki, civə atomunun əsas halı ilə birinci həyəcanlanmış halı arasındakı enerji fərqi $4,9eV$ - dur. Bu isə atomun istənilən deyil, yalnız seçilmiş enerji hallarına

malik olduğunua dəlalət edir. Beləliklə, biz gördük ki, civə atomları üçün $4,9eV$ enerji xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Onlar kiçik enerjini qəbul edə bilmir. Belə ki, kiçik enerjilərdə onlarla elektronlar arasında toqquşma tamamilə elastiki olur. $4,9eV$ enerjini isə bütöv şəkildə qəbul edir. Buradan da, Borun birinci postulatına uyğun olaraq, civə atomu istənilən enerji ehtiyatına malik olmayıb, enerjinin yalnız seçilmiş qiymətlərini ala bilər. E_1 “həyəcanlanmamış” civə atomunun enerji ehtiyatıdırsa, atomun sonrakı həyəcanlanmış halda enerjisinin qiyməti $E_1+4,9eV$ olar. $4,9 V$ sürətləndirici potensial civə atomunun **“birinci kritik potensialı”** və yaxud **“rezonans potensialı”** adlanır.

Bu təcrübədən belə nəticə çıxır ki, civə atomu diskret enerjilərə malik olduğundan yalnız müəyyən qiymətlərə malik olan enerjiləri qəbul edə bilər. Bu enerji porsiyaları civə atomu üçün **$4,9eV$, $6,1eV$** və s.-dir. Beləliklə Frank və Hers təcrübəsi stasionar orbitlərin (I postulat) və bunlar arasındakı seçilmiş keçidlərin (II postulat) mövcud olmasını təsdiq edir. Bir atom tərəfindən alın biləcək ən kiçik enerjiyə, o atomun **birinci həyəcanlaşma enerjisi** ya da ilk həyəcanlanma enerjisi deyilir. Civənin birinci həyəcanlaşma enerjisi $4,86eV$ - dur. Birinci həyəcanlaşma enerjisi ən böyük olan atom helium atomudur. Heliumun birinci həyəcanlaşma enerjisi $19,8eV$ - dur. Seziyum birinci həyəcanlaşma enerjisi ən aşağı olan ($1,38 eV$) atomdur. Atoma verilən enerji müəyyən bir qiyməti aşarsa o ionlaşar və bir sərbəst elektron yaranar. Atomdan bir elektron qopara biləcək enerjinin qiymətinə, **ionlaşma enerjisi** deyilir. Bu qiymət civə üçün $10,4eV$, seziyum üçün $3,87eV$ -dur (şəkil 4.15).

Hər elementin özünə məxsus bir ionlaşma enerjisi vardır. İonlaşma nəticəsində əldə edilən sərbəst elektronun kinetik ener-

jisi hər hansı bir qiymətdə ola bilər. Bu səbəbdən atom ionlaşma enerjisindən böyük olan hər qiymətdəki enerjini ala bilər.



Şəkil 4.15. Civə atomunun ionlaşma enerji səviyyələri

Bu təcrübənin nəticəsini ümumiləşdirərək söyləmək olar ki, bütün atomların enerji səviyyələri diskretdir və bu səviyyələr arasında keçid zamanı enerji porsiyalarla udulur və ya şüalanır. Beləliklə, Frank-Hers təcrübələri zamanı aşağıdakı nəticələr müşahidə olundu:

1. Elektronun sürəti müəyyən böhran qiymətindən kiçik olduqda toqquşma tam elastiki olur, yəni elektron öz enerjisini atoma vermir və o atomdan sıçrayaraq yalnız öz sürətinin istiqamətini dəyişir.
2. Sürət müəyyən böhran qiymətə çatdıqda toqquşma qeyri-elastiki olur, yəni elektron öz enerjisini atoma verir və nəticədə atom daha böyük enerjili stasionar hala keçir.

Deməli, atom enerjini ya qəbul etmir (elastiki zərbə), ya da yalnız iki stasionar halın enerjilərinin fərfinə bərabər miqdarda enerji qəbul edir. Beləliklə, Frank Hers təcrübəsi vasitəsilə atomda diskret enerji səviyyələrinin olması təcrübi yolla isbat olundu.


Bor nəzəriyyəsi hidrogenə bənzər atomların xətti spektrlərinin quruluşunu, xarakteristik rentgen spektrinin təbiətini, güclü maqnit sahəsində spektral xətlərin parçalanmasını (normal Zeeman effekti) izah etdi. Lakin spektral xətlərin intensivliyini izah edə bilmədi. Bor postulatları əsasında helium atomunun nəzəriyyəsini qurmaq mümkün olmadı.

VIRTUAL LABORATORİYA İŞİNİN APARILMA ARDİCİLLİĞİ:


Simulyasiya Frank Hers Experiment konsepsiyasını başa düşmək üçün istifadəçiyə kömək edir.

Eksperimenti başlamaq üçün “Start” (Başla) düyməsi seçilir. Gridə yəni, tora verilən gərginlik əsasən qeyri-elastiki toqquşmalara məruz qalan atomları artırır və elektronların anod lovhəsinə çatmalarına maneçilik törədir. “Stop” düyməsini basmaqla gərginliyin müxtəlif qiymətlərində elektronun atomla elastiki və qeyri-elastiki toqquşmasını müşahidə etmək üçün “Filament gərginliyi” yəni katoda verilən gərginlik və “Greed gərginliyi”, yəni tora verilən gərginlik dəyişdirilir. Bu zaman atomların həyəcanlaşmış hallarını müşahidə edirik. Müxtəlif qazların həyəcanlaşmış halını görmək üçün qazın növü əvvəlcədən təyin edilir. Grafiki görmək üçün “Function” düyməsinə basmaqla PC əməliyyat rejimi seçilir.

1. “Filament Voltage” sürgüsü: Filamentə tətbiq olunan gərginliyi dəyişdirmək üçün istifadə edilir.
2. “Grid Voltage” sürgüsü: Gridə tətbiq olunan gərginliyi dəyişdirmək üçün istifadə olunur.
3. “Combo Box”: qaz növünün seçilməsinə kömək edir.



Franck Hertz



Copyright (C) Amrita University 2009-12

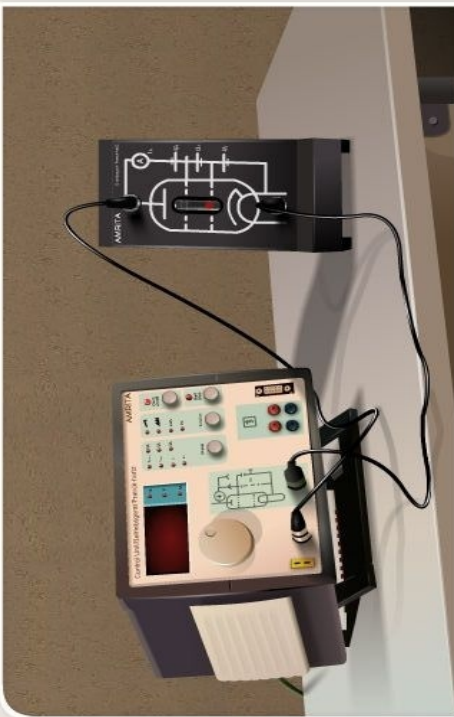
Variables

Filament Voltage: 0 V

Grid Voltage: 0 V

Choose gas type:
Neon(Ne)

PC mode Off



Measurements

Zoom level: 3



Amrita Virtual Lab

<http://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=195&sim=359&cnt=4>

REAL LABORATORİYA İŞİNİN APARILMA ARDICIĞI:

- 1.** Təcrübənin prinsiplial elektrik sxemi ilə tanış olmalı (şəkil 4.12).
- 2.** Elektrik dəstəklərini elektrik şəbəkəsinə qoşmalı.
- 3.** Anoda 2-5V saxlayıcı potensialı verməli.
- 4.** Katodla tor arasındakı sürətləndirici potensialı tədricən artırmalı və bunlara uyğun cərəyanın qiymətlərini qeyd etməli.
- 5.** Cərəyan şiddətinin kəskin azaldığı anlarda potensialın qiymətini qeyd etməli.
- 6.** Təcrübü qiymətlərdən istifadə edərək volt-ampere xarakteristikasını quraraq Helium atomunun birinci həyəcanlaşma potensialını təyin etməli.

Mövzuya aid testlər

1. Frank-Hers təcrübəsi vasitəsilə nə təsdiq olunur?

- A. Elektronların atomlar tərəfindən buraxılması
- B. Metallarda sərbəst elektronların olması
- C. Atomda elektron orbitlərinin elliptik olması
- D. Atomların energetik səviyyələrinin diskretliyi

2. Bor postulatlarına görə.

- A. stasionar hallar enerjinin müəyyən diskret qiymətləri ilə xarakterizə olunur.
- B. stasionar hallar enerjinin istənilən qiymətləri ilə xarakterizə olunur.
- C. stasionar hallar enerjinin yalnız müsbət qiymətləri ilə xarakterizə olunur.
- D. atom istənilən halda ola bilər.

3. Frank-Hers təcrübəsində katod ilə tor arasında hansı cür potensiallar fərqi yaradılır?

- A. Tormozlayıcı
- B. Sürətləndirici
- C. Sabit
- D. Heç bir potensiallar fərqi yaradılmır.

4. Frank-Herts təcrübəsində cərəyanın maksimal qiymətə çatmasından sonra azalması nə ilə izah olunur?

- A. Lampa daxilində elektronlarla atomların elastiki toqquşması
- B. Lampa daxilində elektronlarla atomların qeyri-elastiki toqquşması
- C. Lampa daxilində elektronlarla atomların toqquşmaması
- D. Atomlarla elektronların toqquşması nəticəsində elektronların enerjilərinin artması

5. Atomun ionlaşma enerjisi

- A. elektronun atomu tərk etməsi üçün lazım olan enerjidir.
- B. elektronun əsas haldan birinci həyəcanlanma halına keçməsi üçün lazım olan enerjidir.
- C. elektronun birinci həyəcanlanma halından ikinci həyəcanlanma halına keçməsi üçün lazım olan enerjidir.
- D. atomun xarici maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsiri zamanı qazandığı enerjidir.

6. Atom hansı hallarda şüanı udur və ya buraxır?

- A. Atom stasionar hallarda olduqda
- B. Orbitlərdə yüklü zərrəciklərin təcillə hərəkət etməsi nəticəsində.
- C. Atomların kəsilməz spektrə malik olması
- D. Atom bir stasionar haldan digərinə sıçrayışla keçdikdə

7. Atomun əsas halı

- A. atomun minimal enerjisinə uyğun olan haldır.
- B. atomun maksimal enerjisinə uyğun olan haldır.
- C. atomun sıfırıncı enerjisinə uyğun olan haldır.
- D. enerjinin müsbət qiymətinə uyğun olan haldır.

8. Hansı təcrübələr Bor postulatlarının doğruluğunu təsdiq etdi?

- A. Ştern və Herlax təcrübələri
- B. Frank-Herts təcrübələri
- C. Devisson və Cermer təcrübələri
- D. Rezerford təcrübələri

9. Hidrogen atomunun ionlaşma enerjisi hansı qiymətə uyğundur?

- A. 7 eV
- B. 12 eV
- C. 5 eV
- D. 13,6 eV

10. Birqat ionlaşmış helium (He^+) atomunun ionlaşma enerjisi hansı qiymətə uyğundur?

- A. 54,4 eV
- B. 48 eV
- C. 32 eV
- D. 48,2 eV

11. Hidrogen atomunun 1-ci həyəcanlaşma potensialı hansıdır?

- A. 7 V
- B. 20 V
- C. 15 V
- D. 10,2 V

12. Udulan fotonun dalğa uzunluğu hansı ifadə ilə təyin olunur?

- A. $(E_n - E_k) / h$
- B. $(E_n - E_k) / c$
- C. $hc / (E_n - E_k)$
- D. $h / (E_n - E_k)$

13. Şüalanma zamanı atomun enerjisi necə dəyişir?

- A. Artır
- B. Azalır
- C. Dəyişir
- D. Əvvəlcə azalır, sonra artır.

14. Bor nəzəriyyəsi hansı atomun quruluşunu izah edir?

- A. He
- B. H
- C. Li
- D. B

15. Hansı növ spektr qaz halında atomar şəklində olan maddələr üçün xarakterikdir: I. Xətti spektrlər; II. Kəsilməz spektrlər; III. Zolaqlı spektrlər?

- A. II B. I C. III D. I, II

16. Elektron hidrogen atomunda dördüncü stasionar haldadır. Atom müxtəlif dalğa uzunluqlu neçə kvant şüalandıra bilər?

- A. 3 B. 4 C. 5 D. 6

17. Atom ikinci stasionar haldan birinci stasionar hala keçdikdə enerjisi necə dəyişər?

- A. 2 dəfə azalar
B. 2 dəfə artar
C. dəyişməz
D. 4 dəfə azalar.

18. Bor nəzəriyyəsində atomun enerjisini təyin edən tam ədəd necə adlanır?

- A. orbital kvant ədədi
B. maqnit kvant ədədi
C. spin kvant ədədi
D. baş kvant ədədi.

19. Hidrogen atomu enerjisi – 13.6 eV olan əsas haldadır. Bu atom enerjisi 10.2 eV olan foton udursa, onun son halındakı enerjisi nə qədər olar?

- A. – 23,8 eV B. – 3,4 eV C. 23,8 eV 3,4 eV

TESTİN DÜZGÜN CAVABLARI

- 1.D 2.A 3.B 4.B 5.A 6.D 7.A 8.B 9.D 10.A
11.D 12.C 13.B 14.B 15.B 16.D 17.D 18.D 19.B

Yoxlama sualları

1. Atom hansı halda şüanı udur və buraxır?
2. Frank və Hers təcrübələrində niyə yalnız valent elektronları iştirak edir?
3. Frank və Hers öz təcrübələrində hansı səbəbə görə civə buxarlarından istifadə etmişlər?
4. Nəyə görə elastiki toqquşma zamanı elektron ilə civə atomu arasında enerji mübadiləsi olmur?
5. Atomun stasionar halları arasındakı enerji fərqi necə təyin etmək olar?
6. Atomun energetik hallarının diskretliyinə necə əmin olmaq olar?

ƏLAVƏLƏR

Fiziki kəmiyyət	Düsturu, işarəsi	BS-də əsas ölçü vahidi	Əlavə ölçü vahidləri	Hansı cihaz ilə ölçülür
<p>Sürət</p> <p>Vektorialdır</p>	$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$	$1 = \frac{m}{san}$	$1 \frac{km}{saat}, 1 \frac{km}{san},$ $1 \frac{sm}{san}$ və sair.	<p>Spidometr</p> <p>İş prinsipi maqnit qarşılıqlı təsirinə əsaslanır)</p>
<p>Gedilən yol</p> <p>Skalyardır</p> <p>Yerdəyişmə</p> <p>Vektorialdır</p>	$s = vt$ $\vec{s} = \vec{v}t$ $s_x = v_x t$	<p>1m</p> <p>(metr)</p>	$1m = 10^2 san$ $1m = 10^3 mm$ $1m = 10dm$ $1m = 10^{-3} km$ və sair.	
<p>Məsafə (uzunluq)</p> <p>Skalyardır</p>	<p>S və ya l ilə işarə edilir işarə edilir</p> <p>Çevrə</p> $l = 2\pi R$ <p>$\pi = 3,14$</p>	<p>1m (metr)</p>	<p>1sm, 1mm, 1dm, 1km və s.</p>	<p>Xətkeş ru-letka və s</p>

Sahə Skalyardır	Kvadrat	$1m^2$	$1a(ar)$ $= 10^2mm$ $1ha(hektar)$ $= 10^2a$ $1ha = 10^4m^2$ $1m^2 = 10^2dm^2$ $1m^2 = 10^4sm^2$ $1m^2 = 10^6mm^2$ $1m^2 = 10^{-6}km^2$ və sair.	
	$S = a^2$			
	Düzbucaqlı			
	$S = ab$			
	Trapesiya			
	$S = \frac{a + b}{2}$			
	Üçbucaq			
	$S = \frac{1}{2}ah$			
	Paraleloqram			
	$S = a \cdot h$			
Romb				
$S = ah =$ $= \frac{1}{2}d_1d_2$				
Dairə				
$S = \pi R^2$				
Sfera				
$S = 4\pi R^2$				

Həcm Skalyardır	Kub	$1m^3$	$1l(ltr) = 1dm^3$ $1m^3 = 10^3dm^3$ $1m^3 = 10^6sm^3$ $1m^3 = 10^9mm^3$ və s.	Menzurka (ölçü slindri) İş prinsipi Arximed qanununa əsaslanır
	$V = a^3$			
	Paraleloiped			
	$V = S \cdot h =$ $= a \cdot b \cdot c$			
	Düz prizma			
	$V = S_{ot} \cdot l$			
	Piramida			
	$V = \frac{1}{3} S_{ot} \cdot h$			
	Silindr			
	$V = \pi R^2 \cdot h$			
Konus				
$V = \frac{1}{3} \pi R^2 \cdot h$				
Kürə				
$V = \frac{1}{3} \pi R^3$				

<p>Kütlə Skalyardır</p>	<p>Cisimlərin ətalətliyini xarakterizə edən fiziki kəmiyyətdir.</p> $m = \rho V$ <p>Çox böyük cisimlərin (Günəş, Yer) və zərrəciklərin kütlələrini qarşılıqlı təsirinə əsasən tapırlar</p> $\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_2}{v_1}$	<p>1kq</p>	$1t = 10^3 kq$ $1s = 10^2 kq$ $1q = 10^{-3} kq$	<p>Qollu tərəzi</p> <p>İş prinsipi ağırlıq qüvvəsinin təsirinə əsaslanır.</p>
<p>Maddənin sıxlığı Skalyardır</p>	$\rho = \frac{m}{V}$	$1 \frac{kq}{m^3}$	$1 \frac{q}{sm^3} = 10^3 \frac{kq}{m^3}$ $1 \frac{t}{m^3} = 10^3 \frac{kq}{m^3}$	<p>Areometr</p> <p>Mayelərin sıxlığını ölçür. İş prinsipi Arximed qanununa əsaslanır</p>

<p>Qüvvə Vektorialdır</p>	<p>Cisimlərin qarşılıqlı təsirinin miqdar ölçüsü</p> $\vec{F} = m\vec{a}$	<p>1N</p>	<p>$1MN = 10^6N$</p> <p>$1kN = 10^3N$</p> <p>$1mN = 10^{-3}N$</p> <p>$1mkN = 10^6N$</p>	<p>Dinamometr</p> <p>Yaylı dinamometrin iş prinsipi Huk qanununa əsaslanır.</p> <p>Dartı dinamometri ilə böyük qüvvələri ölçürlər</p>
<p>Zaman Skalyardır</p>	<p>t ilə işarə edilir</p>	<p>1san (saniyə)</p>	<p>1dəq= 60san</p> <p>1saat =60dəq</p> <p>1sutka =24saat</p> <p>1sutka=86400san</p> <p>1qərinə=33 il və s.</p>	<p>Saniyəölçən, saat və s.</p>

Bəzi fiziki sabitlər

- **Sərbəstdüşmə təcili** – Yer in səthi yaxınlığında və orta coğrafi enlikdə cisimlərin havasız fəzadə düşmə təcildir, g ilə işarə olunur və $g=9,81\text{m/san}^2$ -dır. Bu kəmiyyət cismin kütləsindən asılı deyil və bəzən qravitasiya sahəsinin intensivliyi adlanır.
- **Qravitasiya sabitk** ədədi qiymətcə kütlələri 1kg , aralarındakı məsafə 1m olan iki bircins kürə arasındakı qravitasiya qüvvəsinə bərabər olan sabitdir, G ilə işarə olunur və $G=6,67\cdot 10^{-11}\text{Nm}^2/\text{kg}^2$
- **Habbl sabiti** bir-birindən 1Mpk (meqaparsek) məsafədə olan qalaktikaların bir-birindən uzaqlaşma sürətinə bərabər olan sabitdir, H ilə işarə olunur və $H=75\text{ km/Mpk}\cdot\text{san}$.
- **Avogadro sabiti** – bütün maddələrin 1mol -dakı molekullarının sayıdır, N_A ilə işarə olunur və $N_A=6,02\cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$ -dir.
- Bolsman sabiti – ideal qazın temperaturu 1K artanda bir molekulun enerji artımına uyğun gələn enerjidir, k ilə işarə olunur və $k=1,38\cdot 10^{-23}\text{C/K}$.
- **Universal qaz sabiti** – 1mol ideal qazın temperaturunu 1K artırdıqda onun daxili enerjisinin artımına uyğun olan enerjidir, R ilə işarə olunur və $R=8,31\text{ C/mol}\cdot\text{K}$
- **Kulon sabiti** – yükləri 1Kl aralarındakı məsafə 1m olan iki nöqtəvi yük arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsinə bərabər olan sabitdir, k ilə işarə olunur və $k=9\cdot 10^9\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{Kl}^2$.
- **Elektrik sabiti** - $\varepsilon_0=8,85\cdot 10^{-12}\text{Kl}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2/$
- **Elementar yük** – təbiətdə rast gəlinən ən kiçik elektrik yükünün moduludur, e ilə işarə olunur və $e=1,6\cdot 10^{-19}\text{Kl}$.

- **Elektronun xüsusi yükü** – elektronun yükünün modulunun kütləsinə olan nisbətidir və $e/m=10^{11} \text{ Kl/kq}$.
- **Faradey sabiti** – elektroliz zamanı elektrod üzərində 1 qram ekvivalent maddə ayrılması üçün elektrolitdən keçən yükdür və $F=96500 \text{ Kl/mol}$.
- **İşıq sürəti** – Işığın vakuumda 1san-də getdiyi yoldur və $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/san}$.
- **Plank sabiti**: $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$.
- **Ridberq sabiti**: $R \approx 1,097373143 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.
- **Atom kütlə vahidi**: $1 \text{ a.k.v} = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$.
- **Elektronun sükunət kütləsi**: $m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ kq}$.
- **Protonun sükunət kütləsi**: $M_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$.
- **Neytronun sükunət kütləsi**: $M_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$.
- **Bor radiusu** – hidrogen atomunun stasionar hala uyğun radiusu: $a_0 = 5,2917706 \cdot 10^{-11} \text{ m}$.
- **Elektronun klassik radiusu** - $r_0 = 2,8179380 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.
- **Stefan-Bolsman sabiti**: $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Vt} \cdot \text{m}^2 \text{ dər}^{-4}$.
- **İdeal qazın standart həcmi** – normal şəraitdə 1mol ideal qazın tutduğu həcm: $V_0 = 22,41383 \text{ m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$.
- **Loşmid ədədi** – normal şəraitdə vahid həcmdəki qaz molekullarının sayıdır: $n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$.

Atmosfer təzyiqi

Yer kürəsini əhatə edən hava qatı **atmosfer** adlanır. Yunan sözü olub “atmos” - buxar, və “sphaîr” – sfera, kürə deməkdir. Atmosfer qazların qarışığından (azot, oksigen, hidrogen, karbon qazı, ozon və s.) və su buxarından ibarət olub, yerin cazibəsi nəticəsində mövcuddur. Hava qatı öz ağırlığı ilə Yerın səthinə doğru təzyiq yaradır. Havanın yaratdığı təzyiq **atmosfer təzyiqi** adlanır. Bu təzyiq yerin səthində ən böyük qiymətə çatır. Bu təzyiqin qiymətini 1643 - cü ildə italyan alimi Toriçelli təcrübi olaraq təyin etmişdir. O, uzunluğu 1 metr, bir tərəfi bağlı, nazik şüşə boru götürmüş, onun içinə civə doldurub, ağzı aşağı, şaquli vəziyyətdə civə olan digər qaba salaraq saxlayır. Bu zaman borudakı civənin bir hissəsi qaba tökülmüş, boruda 760 mm civə sütunu qalmışdır. Civənin borudan tökülməməsinə səbəb qabdakı civənin səthinə atmosfer təzyiqinin olmasıdır. Deməli, *Yer səthində atmosfer təzyiqi 760 mm civə sütununun təzyiqinə bərabərdir.* Bu təzyiqi Paskal ilə ifadə edək:

$$p = \rho_{civ} gh = 13600 \frac{kq}{m^3} \cdot 9,8 \frac{N}{kq} \cdot 0,76m = 101300 \frac{N}{m^2} = 101300 Pa \approx 10^5 Pa$$

Təzyiqin bu qiyməti normal atmosfer təzyiqi adlanır. Beləliklə, 0°C temperaturda 760 mm civə sütununun yaratdığı təzyiq normal atmosfer təzyiqinə bərabərdir:

$$P_0 = 760 \text{ mm c. süt.} = 101300 \text{ Pa} = 101,3 \text{ kPa} = 100 \text{ kPa.}$$

Hündürlük artdıqca havanın sıxlığı kimi təzyiq də azalır. Atmosfer təzyiqinin hündürlükdən asılılığını ilk dəfə 1648-ci ildə Paskal müəyyənləşdirmişdir. Ölçmələr göstərir ki, yüksəklik artdıqca təzyiq orta hesabla hər 12 metrə 1 mm. c. süt. qədər azalır.

Atmosfer təzyiqini ölçmək üçün civəli barometrədən və metal barometr – aneroidədən (“aneroid” yunanca havasız deməkdir) istifadə edilir.

Atmosfer təzyiqindən böyük və kiçik təzyiqləri, maye və qazın təzyiqini ölçmək üçün manometrədən istifadə edilir.

BƏZİ ZƏRRƏCİKLƏRİN KÜTLƏSİ VƏ SÜKUNƏT ENERJİSİ

Zərrəcik	Kütlə		Enerji	
	m_0, kq	$m_0, a.k.v.$	E_0, c	E_0, MeV
Elektron	$9,1 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,51
Proton	$1,67 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Neytron	$1,68 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Deyton	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3 \cdot 10^{-10}$	1876
α - zərrəcik	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Neytral mezon	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14526	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

ASTRONOMİK KƏMIYYƏTLƏR

№	Kəmiyyət	Qiymət
1	Günəşin kütləsi	$1,97 \cdot 10^{30}$ kq
2	Yerin kütləsi	$5,96 \cdot 10^{24}$ kq
3	Aynın kütləsi	$7,33 \cdot 10^{22}$
4	Günəşin radiusu	$6,96 \cdot 10^8$ m
5	Yerin radiusu	$6,37 \cdot 10^6$ m
6	Günəşdən Yerə qədər orta məsafə	$1,496 \cdot 10^{11}$ m
7	Günəşdən Yupiterə qədər orta məsafə	$7,778 \cdot 10^{11}$ m
8	Yerdən Aya qədər orta məsafə	$3,88 \cdot 10^8$ m

METALDAN ELEKTRONLARIN ÇIXIŞ İŞİ

<i>Metal</i>	<i>A, eV</i>	<i>A, 10⁻¹ C</i>	<i>Metal</i>	<i>A, eV</i>	<i>A, 10⁻¹ C</i>
Volfram	4,5	7,2	Nikel	5,0	8
Dəmir	4,74	7,58	Platin	5,29	8,46
Qızıl	4,68	4,49	Civə	4,52	7,23
Kalium	2,0	3,2	Rubidium	2,13	3,41
Litium	2,4	3,84	Gümüş	4,74	7,58
Maqnezium	3,46	5,54	Tental	4,07	6,5
Miss	4,47	7,15	Seziyum	1,97	3,15
Molibden	4,2	6,72	Sink	4,0	6,4
Natrium	2,3	3,68			

BƏZİ NEYTRAL ATOMLARIN KÜTLƏSİ (a.k.v)

İzotop	Kütləsi	İzotop	Kütləsi	İzotop	Kütləsi
1_1H	1,00783	9_4Be	9,01218	${}^{30}_{14}Si$	29,97377
2_1H	2,01410	${}^{10}_5B$	10,01294	${}^{40}_{20}Ca$	39,96257
3_1H	3,01605	${}^{12}_6C$	12,0	${}^{56}_{27}Co$	55,93984
3_2He	3,01603	${}^{13}_7N$	13,00574	${}^{63}_{29}Cu$	62,92960
4_2He	4,00260	${}^{14}_7N$	14,00307	${}^{112}_{48}Cd$	111,90276
6_3Li	6,01512	${}^{17}_8O$	16,99913	${}^{200}_{80}Hg$	199,96832
7_3Li	7,01600	${}^{23}_{12}Mg$	22,99413	${}^{235}_{92}U$	235,04393
7_4Be	7,01693	${}^{24}_{12}Mg$	23,98504	${}^{238}_{92}U$	238,05353
8_4Be	8,00531	${}^{27}_{13}Al$	26,98154		

e^x FUNKSIYASININ QIYMƏTLƏRİ

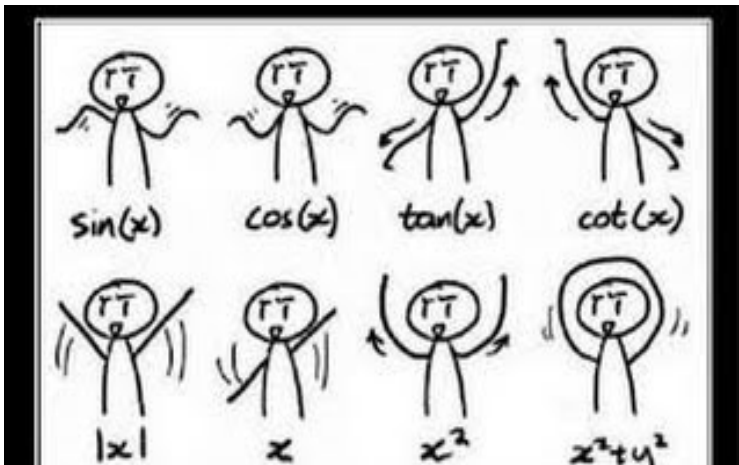
x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
0,00	1,0000	1,0000	2,00	7,3891	0,1353
0,05	1,0513	0,9512	2,05	7,7679	0,1287
0,10	1,1052	0,9048	2,10	8,1662	0,1225
0,15	1,1618	0,8607	2,15	8,5849	0,1165
0,20	1,2214	0,8187	2,20	9,0250	0,1108
0,25	1,2840	0,7788	2,25	9,4877	0,1054
0,30	1,3499	0,7408	2,30	9,9742	0,1003
0,35	1,4191	0,7047	2,35	10,486	0,09537
0,40	1,4918	0,6703	2,40	11,023	0,09072
0,45	1,5683	0,6376	2,45	11,588	0,08629
0,50	1,6487	0,6065	2,50	12,182	0,08208
0,55	1,7333	0,5770	2,55	12,807	0,07808
0,60	1,8221	0,5488	2,60	13,464	0,07427
0,65	1,9155	0,5221	2,65	14,154	0,07065
0,70	2,0138	0,4966	2,70	14,880	0,06721
0,75	2,1170	0,4724	2,75	15,643	0,06393
0,80	2,2255	0,4493	2,80	16,445	0,06081
0,85	2,3396	0,4274	2,85	17,288	0,05784
0,90	2,4596	0,4066	2,90	18,174	0,05502
0,95	2,5857	0,3867	2,95	19,106	0,05234
1,00	2,7183	0,3679	3,00	20,086	0,04979
1,05	2,8577	0,3499	3,05	21,115	0,04736
1,10	3,0042	0,3329	3,10	22,198	0,04505
1,15	3,1582	0,3166	3,15	23,336	0,04285
1,20	3,3201	0,3012	3,20	24,533	0,04076
1,25	3,4903	0,2865	3,25	25,790	0,03877
1,30	3,6693	0,2725	3,30	27,113	0,03688-
1,35	3,8574	0,2592	3,35	28,503	0,03508
1,40	4,0552	0,2466	3,40	29,964	0,03337
1,45	4,2631	0,2346	3,45	31,500	0,03175
1,50	4,4817	0,2231	3,50	33,115	0,03020
1,55	4,7115	0,2123	3,55	34,813	0,02872
1,60	4,9530	0,2019	3,60	36,598	0,02732
1,65	5,2070	0,1921	3,65	38,475	0,02599
1,70	5,4739	0,1827	3,70	40,447	0,02472
1,75	5,7546	0,1738	3,75	42,521	0,02352
1,80	6,0496	0,1653	3,80	44,701	0,02237
1,85	6,3598	0,1572	3,85	46,993	0,02128
1,90	6,6859	0,1496	3,90	49,402	0,02024

1,95	7,0287	0,1423	3,95	51,935	0,01925
4,00	54,598	0,01832	6,0	403,43	0,00248
4,05	57,397	0,01742	6,1	445,86	0,00224
4,10	60,340	0,01657	6,2	492,75	0,00203
4,15	63,434	0,01576	6,3	544,57	0,00184
4,20	66,686	0,01500	6,4	601,85	0,00166
4,25	70,105	0,01426	6,5	665,14	0,001503
4,30	73,700	0,01357	6,6	735,10	0,001360
4,35	77,478	0,01291	6,7	812,41	0,001231
4,40	81,451	0,01228	6,8	897,85	0,001114
4,45	85,627	0,01168	6,9	992,27	0,001008
4,50	90,017	0,01111	7,0	1096,6	0,000912
4,55	94,632	0,01057	7,1	1212,2	0,000825
4,60	99,484	0,01005	7,2	1339,4	0,000747
4,65	104,58	0,00956	7,3	1480,5	0,000676
4,70	109,95	0,00910	7,4	1636,0	0,000611
4,75	115,58	0,00865	7,5	1808,0	0,000553
4,80	121,51	0,00823	7,6	1998,2	0,000500
4,85	127,74	0,00783	7,7	2208,3	0,000453
4,90	134,29	0,00745	7,8	2440,6	0,000410
4,95	141,17	0,00708	7,9	2697,3	0,000371
5,00	148,41	0,00674	8,0	2981,0	0,000335
5,05	156,02	0,00641	8,1	3294,5	0,000304
5,10	164,02	0,00610	8,2	3641,0	0,000275
5,15	172,43	0,00580	8,3	4023,9	0,000249
5,20	181,27	0,00552	8,4	4447,1	0,000225
5,25	190,57	0,00525	8,5	4914,8	0,000203
5,30	200,34	0,00499	8,6	5431,7	0,000184
5,35	210,61	0,00475	8,7	6002,9	0,000167
5,40	221,41	0,00452	8,8	6634,2	0,000151
5,45	232,76	0,00430	8,9	7332,0	0,000136
5,50	244,69	0,00409	9,0	8103,1	0,000123
5,55	257,24	0,00389	9,1	8955,3	0,000112
5,60	270,43	0,00370	9,2	9897,1	0,000101
5,65	284,29	0,00352	9,3	10938	0,000091
5,70	298,87	0,00335	9,4	12088	0,000083
5,75	314,19	0,00318	9,5	13360	0,000075
5,80	330,30	0,00303	9,6	14765	0,000068
5,85	347,23	0,00288	9,7	16318	0,000061
5,90	365,04	0,00274	9,8	18034	0,000055
5,95	383,75	0,00261	9,9	19930	0,000050

0°-90° BUCAQLAR ÜÇÜN SİNUS VƏ TANGENSİN QIYMƏTİ

Bucaq	Sinus	Tangens	Bucaq	Sinus	Tangens
0	0,0000	0,0000	46	0,7193	1,036
1	0,0175	0,0175	47	0,7314	1,072
2	0,0349	0,0349	48	0,7431	1,111
3	0,0523	0,0524	49	0,7574	1,150
4	0,0698	0,0699	50	0,7660	1,192
5	0,0872	0,0875	51	0,7771	1,235
6	0,1045	0,1051	52	0,7880	1,280
7	0,1219	0,1228	53	0,7986	1,327
8	0,1392	0,1405	54	0,8090	1,376
9	0,1564	0,1584	55	0,8192	1,428
10	0,1736	0,1763	56	0,8290	1,483
11	0,1908	0,1944	57	0,8387	1,540
12	0,2079	0,2126	58	0,8480	1,600
13	0,2250	0,2309	59	0,8572	1,664
14	0,2419	0,2493	60	0,8660	1,732
15	0,2588	0,2679	61	0,8746	1,804
16	0,2756	0,2867	62	0,8829	1,881
17	0,2924	0,3057	63	0,8910	1,963
18	0,3090	0,3249	64	0,8988	2,050
19	0,3256	0,3443	65	0,9063	2,145
20	0,3420	0,3640	66	0,9135	2,246
21	0,3584	0,3839	67	0,9205	2,356
22	0,3746	0,4040	68	0,9272	2,475
23	0,3907	0,4245	69	0,9336	2,605
24	0,4067	0,4452	70	0,9397	2,747
25	0,4226	0,4663	71	0,9455	2,904
26	0,4384	0,4877	72	0,9511	3,078
27	0,4540	0,5095	73	0,9563	3,271
28	0,4695	0,5317	74	0,9631	3,487
29	0,4848	0,5543	75	0,9659	3,732

30	0,5000	0,5774	76	0,9703	4,011
31	0,5150	0,6009	77	0,9744	4,331
32	0,5299	0,6249	78	0,9781	4,705
33	0,5446	0,6494	79	0,9816	5,145
34	0,5592	0,6745	80	0,9848	5,671
35	0,5736	0,7002	81	0,9877	6,314
36	0,5878	0,7265	82	0,9903	7,115
37	0,6018	0,7536	83	0,9925	8,144
38	0,6157	0,7813	84	0,9945	9,514
39	0,6293	0,8098	85	0,9962	11,43
40	0,6428	0,8391	86	0,9976	14,30
41	0,6561	0,8693	87	0,9986	19,08
42	0,6691	0,9004	88	0,9994	28,64
43	0,6820	0,9325	89	0,9998	57,29
44	0,6947	0,9657	90	1,000	∞
45	0,7071	1,0000			



Bəzi triqonometrik düsturlar

$$\begin{aligned} \sin^2\alpha + \cos^2\alpha &= 1 & \forall\alpha \\ \operatorname{tg}^2\alpha + 1 &= \frac{1}{\cos^2\alpha} = \operatorname{sec}^2\alpha & \alpha \neq \frac{\pi}{2} + \pi n, n \in Z \\ \operatorname{ctg}^2\alpha + 1 &= \frac{1}{\sin^2\alpha} = \operatorname{cosec}^2\alpha & \alpha \neq \pi n, n \in Z \\ \operatorname{ctg}^2\alpha + 1 &= \frac{1}{\sin^2\alpha} = \operatorname{cosec}^2\alpha & \alpha \neq \pi n, n \in Z \\ \operatorname{tga} \cdot \operatorname{ctga} &= 1 & \alpha \neq \frac{\pi n}{2}, n \in Z \end{aligned}$$

Toplama düsturları

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tga} \pm \operatorname{tg}\beta}{1 \mp \operatorname{tga}\operatorname{tg}\beta}$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{ctg}\beta \mp 1}{\operatorname{ctg}\alpha \pm \operatorname{ctg}\beta}$$

İkiqat arqument düsturları

$$\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha$$

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2\alpha - 1}{2\operatorname{ctg}\alpha}$$

$$\cos 2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1 = 1 - 2\sin^2\alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\operatorname{tga}}{1 - \operatorname{tg}^2\alpha}$$

Üçqat argument düsturları

$$\sin 3\alpha = 3\sin\alpha - 4\sin^3\alpha$$

$$\sin 3\alpha = 4\cos^3\alpha - 3\cos\alpha$$

$$\operatorname{tg} 3\alpha = \frac{3\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}^3\alpha}{1 - 3\operatorname{tg}^2\alpha}$$

$$\operatorname{ctg} 3\alpha = \frac{3\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{ctg}^3\alpha}{1 - 3\operatorname{ctg}^2\alpha}$$

Dərəcənin aşağı salma düsturları

$$\sin^2\alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

$$\cos^2\alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$$

$$\sin^3\alpha = \frac{3\sin\alpha - \sin 3\alpha}{4}$$

$$\cos^3\alpha = \frac{3\cos\alpha + \cos 3\alpha}{4}$$

$$\sin^4\alpha = \frac{3 - 4\cos 2\alpha + \cos 4\alpha}{8}$$

$$\cos^4\alpha = \frac{3 + 4\cos 2\alpha + \cos 4\alpha}{8}$$

$$\sin^5\alpha = \frac{10\sin\alpha - 5\sin 3\alpha + \sin 5\alpha}{16}$$

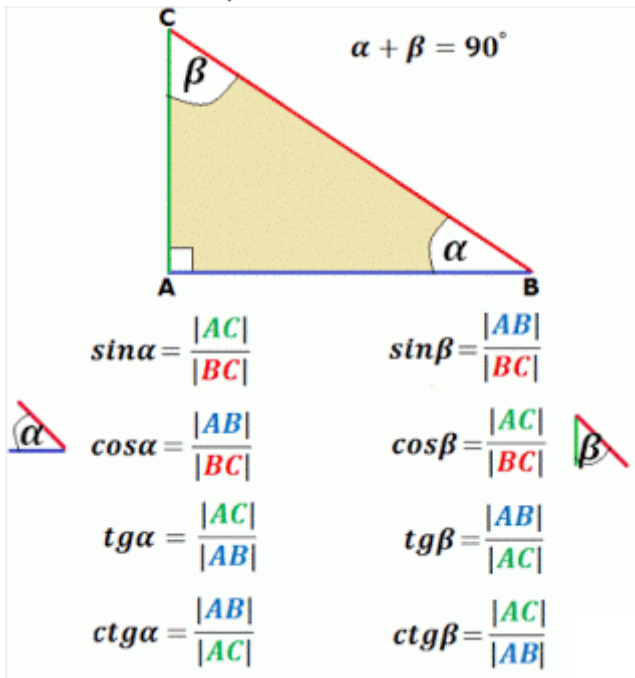
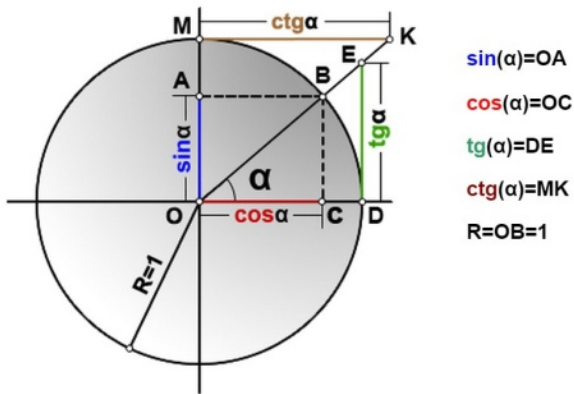
$$\cos^5\alpha = \frac{10\cos\alpha + 5\cos 3\alpha + \cos 5\alpha}{16}$$

Hasilin cəmə çevrilməsi düsturları

$$\sin\alpha\cos\beta = \frac{\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)}{2}$$

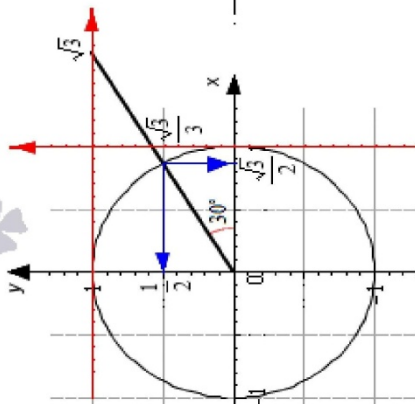
$$\cos\alpha\sin\beta = \frac{\cos(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)}{2}$$

$$\sin\alpha\sin\beta = \frac{\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)}{2}$$



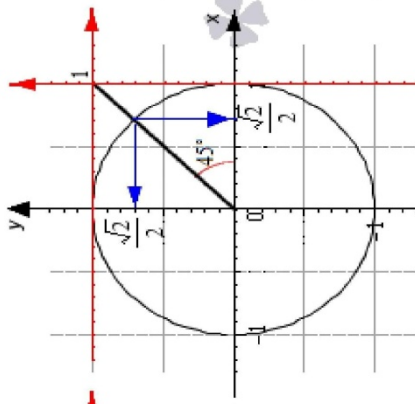
$$\sin 30^\circ = \frac{1}{2} \quad \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\operatorname{tg} 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3} \quad \operatorname{ctg} 30^\circ = \sqrt{3}$$



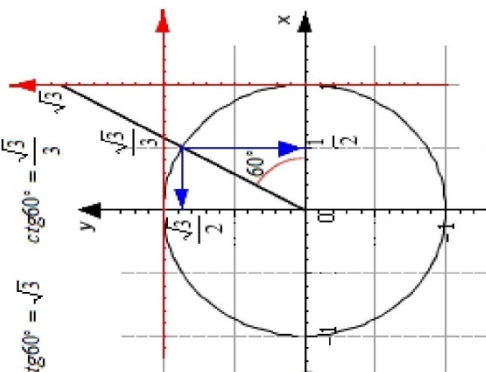
$$\sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\operatorname{tg} 45^\circ = 1 \quad \operatorname{ctg} 45^\circ = 1$$



$$\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cos 60^\circ = \frac{1}{2}$$

$$\operatorname{tg} 60^\circ = \sqrt{3} \quad \operatorname{ctg} 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$$



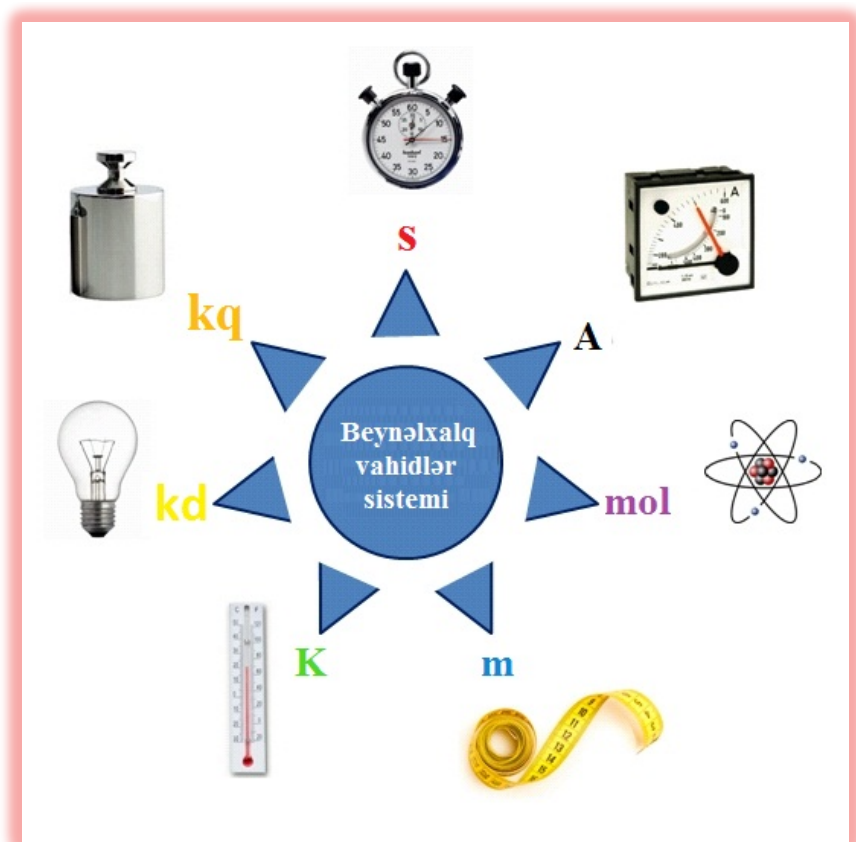
İstenilen bucaq üçün trigonometri k qiymətlər	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°	180°	210°	225°	240°	270°	300°	315°	330°	360°
$\sin x$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
$\cos x$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\tan x$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm\infty$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm\infty$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0
$\cot x$	$\pm\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	$\pm\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	$\pm\infty$

<i>Dərəcə</i>	<i>Önlük</i>	<i>Simvol</i>	<i>Dərəcə</i>	<i>Önlük</i>	<i>Simvol</i>
10^1	<i>deka</i>	<i>d</i>	10^{-1}	<i>desi</i>	<i>d</i>
10^2	<i>hekto</i>	<i>h</i>	10^{-2}	<i>santi</i>	<i>s</i>
10^3	<i>kilo</i>	<i>k</i>	10^{-3}	<i>milli</i>	<i>m</i>
10^6	<i>meqa</i>	<i>M</i>	10^{-6}	<i>mikro</i>	<i>mk</i>
10^9	<i>giga</i>	<i>G</i>	10^{-9}	<i>nano</i>	<i>n</i>
10^{12}	<i>tera</i>	<i>T</i>	10^{-12}	<i>piko</i>	<i>p</i>
			10^{-15}	<i>femto</i>	<i>f</i>
			10^{-18}	<i>atto</i>	<i>a</i>

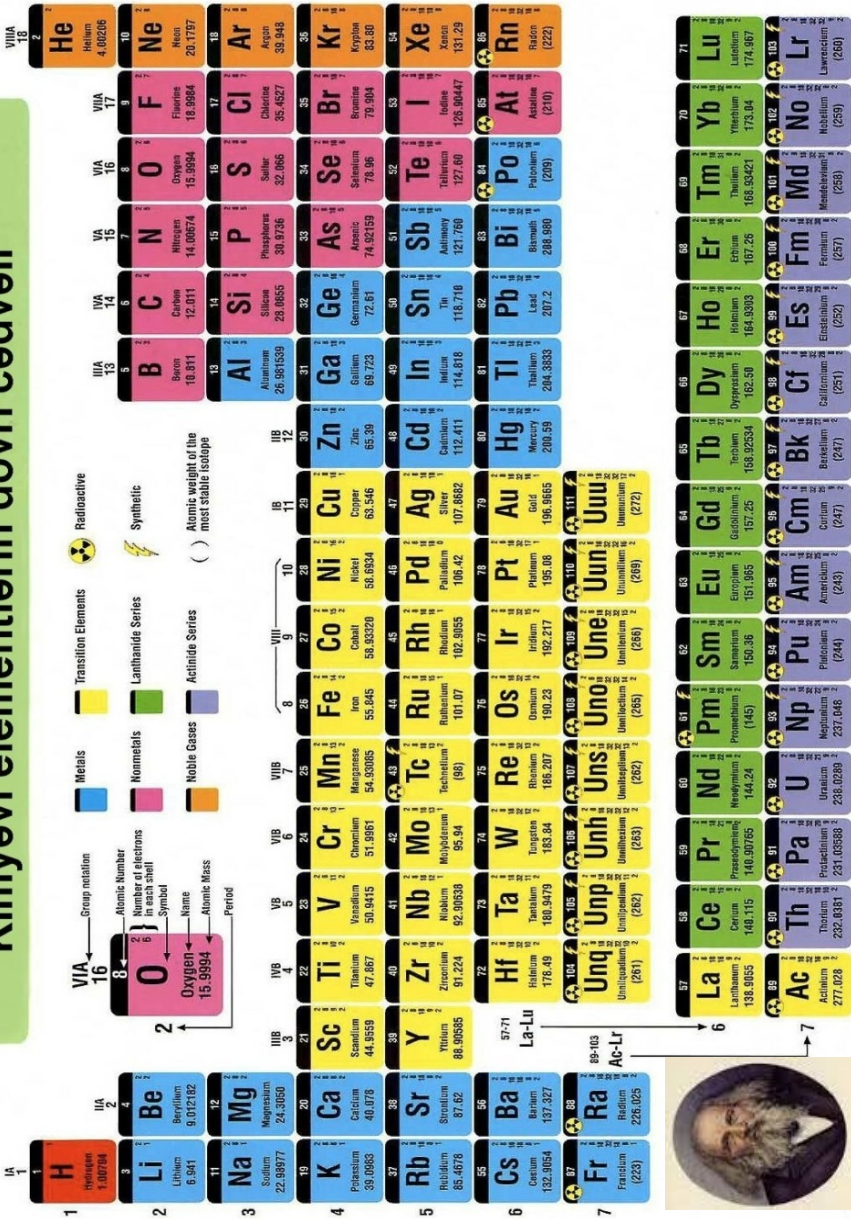
<i>Yunan əlifbası</i>			
Hərflər	Hərfin adı	Oxunuşu	Nömrə
Aα	αλφα alpha	[a]	1
Bβ	βῆτα beta	[b]	2
Γγ	γάμμα gamma	[g]	3
Δδ	δέλτα delta	[d]	4
Eε	εψιλόν epsilon	[e]	5
Zζ	ζῆτα zeta	[z]	6
Hη	ητα eta	[e]	7
Θθ	θῆτα theta	[t ^h]	8
Iι	ιώτα iota	[i]	9
Kκ	κάππα kappa	[k]	10
Λλ	λάμδα lamda	[l]	11
Mμ	μῦ mu	[m]	12

Νν	ν̃ nu	[n]	13
Ξξ	ξ̃ xi	[x]	14
Οο	ομικρόν omicron	[o]	15
Ρρ	ρ̃ rho	[r]	17
Σσ	σ̃γμα sigma	[s]	18
Ττ	τα̃ tau	[t]	19
Υυ	υψιλόν upsilon	[u]	20
Φφ	φ̃ phi	[p ^h]	21
Χχ	χ̃ chi	[k ^h]	22
Ψψ	ψ̃ psi	[p]	23
Ωω	ωμέγα omega	[o]	24

Beynəlxalq vahidlər sistemi



Kimyəvi elementlərin dövrü cədvəli



İstifadə olunmuş ədəbiyyat

1. E.Ə.Məsimov, M.Ş.Məmmədov, R.M.Bağirov «Atom fizikasından məsələlər» Dərs vəsaiti, Bakı, «MBM» mətbəəsi, 2007, 223 səh
2. E.Ə.Məsimov, T.M.Mürsəlov. Atom fizikası, Bakı 2002, 912 s.
3. E.Ə.Məsimov, İ.İ.Hüseynov, T.M.Mürsəlov. Maddə quruluşu. Bakı 1997.
4. M.Ş.Məmmədov, N.Ə.İbrahimov /Atom fizikasından laboratoriya işləri/ 2008, Bakı.
5. M. İ.Murquzov. Atom fizikası, 2000, 2011
6. M.İ.Murquzov, A.S.Ələkbərov, Atom fizikasından laboratoriya praktikumu, ADPU, Bakı 2005
7. Murquzov M.İ., Hüseynov C.İ., Cəfərov T.A. Ümumi fizika kursundan məsələlər (atom və nüvə fizikası) Bakı, “Ləman NPM”, 2005
8. Serway, John. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (Aise, Chapters 1-46): 1. Oxford Oxfordshire: Oxford University Press, 2007.
9. Trefil, James. The Nature of Science. Oxford Oxfordshire: Oxford University Press, 2003.
10. Lazar, Miriam. Let's Review. Oxford Oxfordshire: Oxford University Press, 2004.
11. <http://chemistry.about.com/od/electronicstructure/a/millikan-oil-drop-experiment.htm>
12. <http://www.youtube.com/watch?v=XMfYHag7Liw>

13. http://www.phys.vt.edu/~labs/phys3324/spring11/ph3324_millikan_oil_drop_new.pdf
14. Millikan, R.A. "On the Elementary Electric charge and the Avogadro constant". Phys.Rev. (1913).
15. Millikan, Robert A. The electron and the light-quant from the experimental point of view. Stockholm. Retrieved 2006-11-12. 1924.
16. Millikan, R.A.(1913). "On the Elementary Electric charge and the Avogadro Constant". Phys. Rev. **2** (2): 109–143
17. Basics of Quantum mechanics by Ajoy Ghatak and S.Lokanathan
18. Matheen, Abdul. Heat Transfer Laboratory. City: Laxmi Publications, 2006.
19. Jiji, Latif. Heat Conduction. Berlin: Springer, 2009.
20. en.wikipedia.org/wiki/Stefan%E2%80%93Boltzmann_constant
21. www.engineeringtoolbox.com/radiation-heat-transfer-d_431.html
22. Concepts of Modern physics by Sir Arthur Beiser.
23. Basics of Quantum mechanics by Ajoy Ghatak and S.Lokanathan.
24. Willett, Edward. The basics of quantum physics : understanding the photoelectric effect and line spectra. New York: Rosen Pub. Group, 2005.
25. Vandome, John. Photoelectric effect. S.l: Vdm Publishing House, 2009.
26. Serway, Raymond. College physics. Belmont, CA: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2009.
27. <http://www.youtube.com/watch?v=UWT-bgYRh7g>

28. <http://www.youtube.com/watch?v=ITxs1usXSmk&feature=related>
29. Quantum Mechanics for Nanostructures, V. V. Mitin, Dmitry I. Sementsov, Nizami Z. Vagidov, 2010.
30. The Spectrum of atomic hydrogen-advances, World Scientific, 1988.
31. Kraftmakher, Yaakov. Experiments and Demonstrations in Physics. Oxford Oxfordshire: Oxford University Press, 2007.
32. Greiner, Walter. Quantum Mechanics. Oxford Oxfordshire: Oxford University Press, 2001.
33. Podgorsak, Ervin. Radiation Physics for Medical Physicists. Oxford Oxfordshire: Oxford University Press, 2005.
34. Progress in optics, Volume 26 edited by Emil Wolf, Elsevier, 1988.
35. Fujia Yang, Joseph H Hamilton, Modern Atomic and Nuclear Physics, World Scientific publishing Co. Pte. Ltd, Revised edition.
36. Burke, F. et.al. Dewey's Logical Theory. Nashville: Vanderbilt University Press, 2002.
37. Trefil, James. The Nature of Science. Boston: Houghton Mifflin, 2002.

Qeydlər üçün

Sevda Rzayeva

ATOM FİZİKASI

Universitet tələbələri üçün dərs vəsaiti

**“Ləman Nəşriyyat Poliqrafiya” MMC-də çap edilmişdir.
Format: 60x84 1/16, Sifariş №71/17, Şərti çap vərəqi: 13,5.
Sayı 500.**
