AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİNİN nəzdində

BAKI TEXNİKİ KOLLECİ

“ÜMUMTƏHSİL FƏNLƏR” FƏNN BİRLİYİ

Fənn: FİZİKA

MÜHAZİRƏ MƏTNLƏRİ

(30 saat)

(1-ci kurs üzrə, II semestr)

BAKI-2022

MÜNDƏRİCAT

1.Elektrik yükü.....1

2.Bircins elektrik sahəsi.....2

3.Elektrik sahəsinin potensialı.....3

4.Kondensatorlar.....4

5.Maqnit sahəsi.....5

6.Maqnit seli.....6

7.Elektromaqnit induksiya qanunu.....6

8.Dövrə hissəsi üçün Om qanunu.....9

9.Tam dövrə üçün Om qanunu.....10

10. Metallarda elektrik cərəyanı.....11

11.Elektroliz qanunları.....15

12.Yarımkeçiricilərdə elektrik cərəyanı.....16

13.Yarımkeçirici diod.....17

14.Sərbəst və məcburi elektromaqnit rəqsləri.....18

15.Dəyişən cərəyan.....19

16.Aktiv müqavimət.....19

17.Elektromaqnit dalğaları.....21

18.İşığın dalğa təbiəti.....22

19.İşığın dispersiyası və interferensiyası.....22

20.Fotoeffekt.....27

21.Atomun quruluşu. Bor postulatları.....31

22.Atom nüvəsi.....33

Elektrik yükü

• *Elektrik yükü — zərrəciklərin və ya cisimlərin ətraflarında elektromaqnit sahəsi yaratma xassəsidir. Elektrik yükü bu xassənin kəmiyyət ölçüsü olaraq da qəbul edilir.*

Elektrik yüklü zərrəciklər arasındakı qarşılıqlı təsir elektromaqnit qarşılıqlı təsir adlanır. Məsələn, proton müsbət, elektron mənfi yüklü zərrəcikdir dedikdə onlar arasında elektromaqnit qarşılıqlı təsirinin mövcud olduğunu əminliklə söyləmək olar. Lakin yüksüz (elektroneytral) zərrəciklər arasında elektromaqnit qarşılıqlı təsirləri mövcud olmur. Ona görə də deyilir ki:

Elektrik yükü elektromaqnit qarşılıqlı təsirinin intensivliyini müəyyən edir.

Elektrik yükü aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdir:

1. *Elektrik yükü diskretdir (kəsilməz deyil, bölünəndir)* - cismin elektrik yükü elementar yükün tam misillərinə bərabərdir:

$$q = \pm Ne.$$

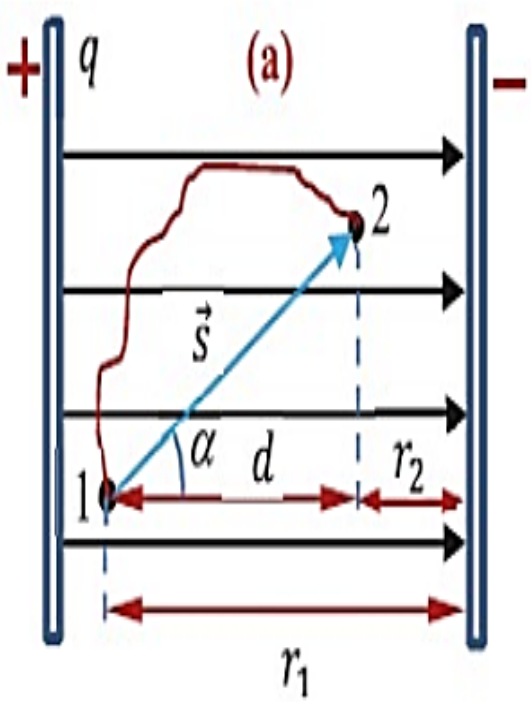
Burada N cismin aldığı və ya verdiyi elektronların sayıdır.

Təbiətdə ən kiçik elektrik yükünün mütləq qiyməti ***elementar yük*** *adlanır. Elementar yük* ***e*** *hərfi ilə işarə edilir və ədədi qiymətcə elektronun və ya protonun yükünün mütləq qiymətinə bərabərdir:*

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} Kl.$$

Təbiətdə elektron və protonlardan başqa, bir neçə növ elementar zərrəciklər də mövcuddur. Lakin yalnız elektronlar və protonlar sərbəst halda sonsuz müddət mövcud ola bilir. Digər yüklü elementar zərrəciklər isə çox az - saniyənin milyonda bir hissəsi qədər yaşaya bilir. Onlar sürətli zərrəciklərin toqquşması nəticəsində yaranır və dərhal da digər zərrəciklərə çevrilir.

Bircins elektrik sahəsinin işi. Müsbət *q* sınaq yükü bircins elektrik sahəsində sabit $\vec{F}_e = q\vec{E}$ qüvvəsinin təsiri ilə sahənin ixtiyari iki nöqtəsi arasında $\vec{s}$ yerdəyişməsi etdikdə *elektrik qüvvəsi iş görür* **(a)**:



$$A = F_e \cdot s \cdot \cos\alpha.$$

Burada α - sahənin qüvvə xətti və yükün yerdəyişmə vektoru arasındakı bucaqdır. Yerdəyişmənin qüvvə xətti üzrə proyeksiyası d = s • d cosa olduğundan sahənin gördüyü iş üçün alınır:

$$A = qEd. \qquad (1)$$

• *Müsbət q smaq yükünün elektrik qüvvəsinin təsiri altında yerdəyişməsi zamanı bircins elektrik sahəsinin gördüyü iş bu yükün miqdarı, elektrik sahəsinin intensivliyinin modulu, qüvvə xətti istiqamətində yükün yerdəyişməsinin modulu hasilinə bərabərdir.*

(1) ifadəsini belə də yazmaq olar:

$$A = qE(r_1 - r_2). \qquad (2)$$

Burada r_1 və r_2 - uyğun olaraq mənfi yüklü lövhədən 1 və 2 nöqtəsinə qədər olan məsafədir.

Elektrik sahəsinin işi sınaq yükünün miqdarından düz mütənasib asılı olduğundan $\frac{A}{q}$ nisbəti də smaq yükündən və onun hansı trayektoriya üzrə hərəkətindən asılı deyildir. Həmin nisbət yalnız sahədən və bu sahədə yükün başlanğıcda və sonda olduğu nöqtələrin seçilməsindən asılıdır.*Ona görə də deyilir ki, elektrik sahəsində sınaq yükünün sahənin bir nöqtəsindən digərinə hərəkəti zamanı elektrik qüvvəsinin gördüyü iş trayektoriyanm formasından asılı olmadığına görə elektrik qüvvəsi konservativ qüwə, elektrik sahəsi isə konservativ-potensiallı sahədir.*

• *Elektrik yükünün sahənin bir nöqtəsindən digərinə hərəkəti zamanı sahənin gördüyü işin həmin yükün miqdarına nisbətinə bərabər olan kəmiyyət bu iki nöqtə arasındakı* ***potensiallar fərqi*** *və ya* ***gərginlik*** *adlanır:*

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}. \qquad (3)$$

Burada $(\varphi_1 - \varphi_1)$ - potensiallar fərqidir. İndeksdəki 1 və 2 rəqəmləri sınaq yükünün elektrik sahəsinin hansı nöqtələri arasında hərəkət etdiyini göstərir. Potensiallar fərqinin BS-də vahidi voltdur:

$[\varphi_1 - \varphi_2]=1\ \frac{C}{Kl}=1V.$

(3) ifadəsindən yükün elektrik sahəsinin iki nöqtəsi arasında hərəkəti zamanı sahənin gördüyü iş təyin edilə bilər:

Yükün elektrik sahəsinin iki nöqtəsi arasında hərəkəti zamanı sahənin gördüyü iş yükün miqdarı ilə həmin nöqtələr arasındakı potensiallar fərqinin (gərginliyin) hasilinə bərabərdir.

$$A=q(\varphi_1-\varphi_2)=qU \qquad (4)$$

(1) və (3) düsturlarının müqayisəsindən bircins elektrik sahəsində *intensivliklə gərginlik arasında əlaqə düsturu alınır:*

$$U=\frac{A}{q}=\frac{qEd}{q}=Ed \quad \rightarrow \quad E=\frac{U}{d} \text{ və ya } E=\frac{\varphi_1-\varphi_2}{d}. \qquad (5)$$

Sahənin intensivliyinin istiqaməti potensialı böyük nöqtədən kiçiyə doğrudur.

Elektrik sahəsinin potensialı. Elektrik sahəsinin ixtiyari bir nöqtəsinin eneji xarakteristikasını ifadə etmək üçün potensial adlandırılan fiziki kəmiyyətdən istifadə olunur. *Elektrik sahəsinin ixtiyari bir nöqtəsi ilə sahənin potensialının sıfır qəbul olunan digər nöqtəsi arasındakı potensiallar fərqi sahənin həmin nöqtəsindəki potensialı adlanır.* Adətən, potensialm hesablanması sonsuzluğa nəzərən aparılır.

• *Potensial - ədədi qiymətcə müsbət vahid sınaq yükünün müsbət q yükündən itələnməsi nəticəsində onun sonsuzluğa yerdəyişməsi zamanı görülən işə bərabərdir:*

$$\varphi=\varphi_1-\varphi_\infty=\frac{A_{1\rightarrow\infty}}{q} \qquad (6)$$

Potensial φ simvolu ilə işarə olunur və BS-də vahidi voltdur: $[\varphi]=1\ \frac{C}{kl}=1V$

Kondensatorlar

Məlumdur ki, ən sadə kondensator iki paralel müstəvi lövhədən ibarət müstəvi kondensatordur. Kondensatorun xarakteristikası **elektrik tutumudur.**

Kondensatorun elektrik tutumu (C) - onun yükünün lövhələri arasındakı gərginliyə (potensiallar fərqinə) nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir.

$$C=\frac{q}{\varphi_1-\varphi_2}=\frac{q}{U} \qquad (1)$$

Elektrik tutumunun BS-də vahidi faraddır (İF):

• *Farad elə kondensatorun elektrik tutumudur ki, onun yükü İKI olduqda lövhələri arasındakı gərginliyi 1V olsun:*

$$[C]=\frac{[q]}{[U]}=1\frac{Kl}{V}=1F$$

Farad çox böyük elektrik tutumu olduğundan praktikada onun çox kiçik hissələrindən (mikrofarad, nanofarad, pikofarad və s.) istifadə edilir:

$$1\ mkF = 10^{-6}F;\ 1nF = 10^{-9}F;\ 1pF = 10^{-12}F.$$

Kondensatorun yükü, onun lövhələrinin birinin yükünün moduluna bərabərdir. Bu yük kondensatorun qoşulduğu mənbəyin uclanndakı gərginliklə düz mütənasibdir:

$$q = CU. \qquad (2)$$

Deməli, elektrik tutumu elektrik yükü və gərginlik arasında mütənasiblik əmsalı olub yük və gərginlikdən asılı deyildir

Yüklənmiş kondensatorun elektrik sahəsinin enerjisi. Yüklənmiş müstəvi kondensatorun lövhələri arasındakı bircins elektrik sahəsinin enerjisi aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$W_e = \frac{qU}{2}. \qquad (5)$$

Qeyd. *(5) ifadəsindəki* $\frac{1}{2}$ *hasili onu göstərir ki, kondensatorun lövhələrini ayrı-ayrılıqda hərəkət etdirdikdə onların hər birini digər lövhənin yükünün yaratdığı elektrik sahəsində hərəkət etdirmiş oluruq. Bir lövhənin sahə intensivliyi isə lövhələr arasındakı elektrik sahə intensivliyindən 2 dəfə kiçikdir.*

Burada (2) ifadəsini nəzərə aldıqda enerjinin kondensatorun elektrik tutumu və yükündən asılılıq ifadələri alınır:

$$W_e=\frac{CU^2}{2} \qquad (6)$$

və ya

$$W_e=\frac{q^2}{2C}. \qquad (7)$$

Maqnit sahəsi

Danimarka alimi H.Ersted təcrübi olaraq cərəyanıı naqillə maqnit əqrəbinin qarşılıqlı təsirini aşkar etdikdən sonra fransız fiziki A.Amper iki paralel cərəyanıı naqilin sabit maqnitlər kimi qarşılıqlı təsirini aşkar etdi. Məlum oldu ki, eyni istiqamətdə cərəyan keçən iki paralel naqil arasında cazibə xarakterli, əks istiqamətli cərəyanıı naqillər arasında isə itələmə xarakterli maqnit qarşılıqlı təsiri baş verir. Elektrik cərəyanı yüklü zərrəciklərin nizamlı hərəkəti olduğuna görə maqnit qarşılıqlı təsiri də hərəkətdə olan yüklü zərrəciklərin fəzada yaratdıqları maqnit sahələrinin qarşılıqlı təsiridir.

Maqnit sahəsinə gətirilən istənilən cərəyanıı naqilə *(sınaq cərəyanı)* sahə tərəfindən müəyyən qüvvə təsir edir. *Amper qüvvəsi adlanan bu qüvvənin modulu naqildəki cərəyan şiddəti, maqnit induksiyası vektorunun modulu, naqilin uzunluğu və cərəyanın istiqaməti ilə maqnit induksiya vektoru arasında qalan bucağın sinusu hasilinə bərabərdir:*

$$F_A = IBl\sin\alpha.$$

Məlumdur ki, Amper qüvvəsinin istiqaməti *sol əl qaydası* ilə təyin olunur. *Əgər sınaq cərəyanı sahənin induksiya vektoruna perpendikulyar olarsa (sin90° = 1), bu cərəyana təsir edən Amper qüvvəsi maksimal qiymət alır:*

$$F_{max} = IBl.$$

Bu düsturdan maqnit sahəsinin qüvvə xarakteristikası olan maqnit sahə induksiyasının fiziki mənasını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

• *Maqnit sahəsinin induksiyası vektorial kəmiyyətdir, onun modulu maqnit sahəsinə gətirilən sınaq cərəyan elementinə (I • l) təsir göstərən maksimal qüvvəni xarakterizə edir:*

$$B = \frac{F_{max}}{Il}.$$

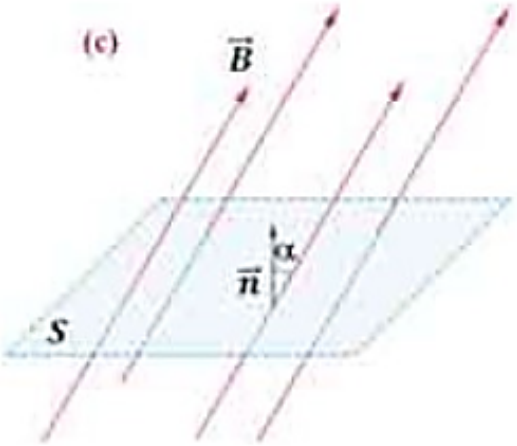
•*Maqnit induksiyası vektorunun istiqaməti olaraq maqnit sahəsində sərbəst dönə bilən maqnit əqrəbinin şimal qütbünün yönəldiyi istiqamət götürülür* ***(c)***.

Maqnit induksiyasının BS-də vahidi tesladır (1 Tl):

$$[B] = \frac{[F_{max}]}{[I][l]} = 1\,\frac{N}{A\cdot m} = 1tl$$

Maqnit seli. Bircins maqnit sahəsində qapalı kontur (çərçivə) yerləşdirilərsə, bu konturun hüdudlandırdığı səthin S sahəsindən müəyyən sayda maqnit induksiya xətləri keçər **(c)**. Həmin induksiya xətlərinin sayı ilə mütənasib olan kəmiyyət *maqnit induksiya seli* və ya sadəcə *maqnit seli* adlanır.

• *Maqnit induksiya seli (φ) - ədədi qiymətcə maqnit induksiya vektorunun modulu, konturun sahəsi və konturun normalı ilə induksiya vektoru arasında qalan bucağın kosinusu hasilinə bərabər kəmiyyətdir.*



$$\varphi = BS\cos\alpha$$

Maqnit seli skalyar kəmiyyət olub mənfi, müsbət və ya sıfıra bərabər ola bilər:

- əgər induksiya vektoru ilə konturun normalı arasındakı bucaq iti bucaqdırsa, maqnit seli müsbət, kor bucaqdırsa, mənfidir;

- əgər induksiya vektoru səthə perpendikulyardırsa, yəni səthin normalına paraleldirsə, $\alpha = 0° \rightarrow \cos 0° = 1$ olur və səthdən keçən maqnit seli maksimum qiymət alır:

$$\varphi = BS;$$

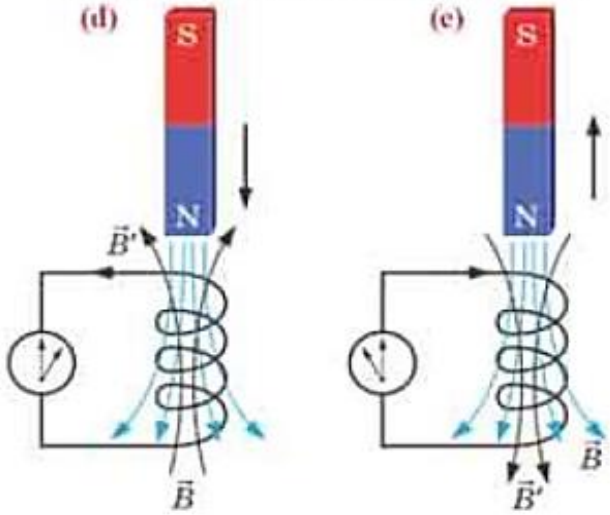
- əgər induksiya vektoru səthə paraleldirsə - səthin normalına perpendikulyardır- sa, $\alpha = 90° \rightarrow \cos 90° = 0$ olur və səthdən keçən maqnit seli də sıfıra bərabər olur: $\varphi = 0$. Deməli, səthi kəsib keçməyən induksiya vektorları maqnit seli yaratmır.

Maqnit induksiya selinin BS-də vahidi *veberdir (1 Vb)*:

$$[\varphi] = [B][S] = 1\,Tl \cdot m^2 = 1\,\frac{N}{A \cdot m} \cdot m^2 = 1\,\frac{N \cdot m}{A} = 1\,\frac{C}{A} = 1\,Vb.$$

• *1 veber - induksiyası 1 Tl olan maqnit sahəsinin induksiya xətlərinə perpendikulyar yerləşdirilən 1 m^2 səthdən keçən maqnit selidir.*

Elektromaqnit induksiyası hadisəsi.



İngilis alimi Maykl Faradeyin (1791-1867) 1831-ci ildə kəşf etdiyi elektromaqnit induksiyası hadisəsi elektrik və maqnit sahələrinin qarşılıqlı əlaqəsinin mövcud olduğunu göstərdi.

Bilirsiniz ki, qalvanometrə birləşdirilən sarğaca sabit maqnit daxil etdikdə və çıxardıqda sarğacın konturlarında (dolaqlarında) induksiya cərəyanı yaranır. Maqnit sarğacın daxilində sükunətdə olarsa və ya fırladılarsa, cərəyan yaranmır. Deməli, *induksiya cərəyanının yaranmasına səbəb maqnit selinin dəyişməsidir* (**d** və **e**).

• *Keçirici konturla hüdudlanmış səthdən keçən maqnit selinin dəyişməsi nəticəsində konturda elektrik cərəyanının yaranması* ***elektromaqnit induksiyası hadisəsi*** *adlanır.*

Burulğanlı elektrik sahəsi. İnduksiya elektrik hərəkət qüvvəsi. Elektromaqnit induksiyası hadisəsi nəticəsində keçirici qapalı konturda induksiya cərəyanının yaranmasına səbəb dəyişən maqnit sahəsinin öz ətrafında burulğanlı elektrik sahəsi yaratmasıdır. Bu sahə konturdakı sərbəst elektronlara təsir edərək onları nizamlı hərəkətə gətirir - induksiya elektrik cərəyanı yaradır. Cərəyanın yaranması üçün müsbət vahid yükün keçirici kontur boyunca yerdəyişməsi zamanı burulğanlı elektrik sahəsinin gördüyü iş sifirdan fərqlidir. Həmin iş keçirici qapalı konturda yaranan *induksiya elektrik hərəkat qüvvəsi* (EHQ) adlanan fiziki kəmiyyəti xarakterizə edir.

• *induksiya elektrik hərəkət qüvvəsi — müsbət vahid elektrik yükünün qapalı kontur boyunca hərəkəti zamanı burulğanlı elektrik sahəsinin gördüyü işin həmin yükün miqdarına olan nisbətinə bərabər olan kəmiyyətdir.*

$$\varepsilon = \frac{A}{q}. \qquad (1)$$

Elektromaqnit induksiyası hadisəsinə aid apardığınız araşdırmalardan müəyyənləşdirdiniz ki, keçirici qapalı konturda yaranan induksiya cərəyanının qiyməti bu konturla hüdudlanan səthdən keçən maqnit selinin dəyişmə sürəti ilə mütənasibdir. Deməli, keçirici konturda induksiya cərəyanı yaradan induksiya EHQ də xarici maqnit selinin dəyişmə sürətindən asılıdır.

• *Çox kiçik zaman müddətində maqnit seli $\Delta\varphi$ qədər dəyişirsə, $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ nisbəti maqnit selinin dəyişmə sürətidir.*

Elektromaqnit induksiyası qanunu. Yuxanda deyilənlər əsasında elektromaqnit induksiyası qanunu belə ifadə olunur:

• *Keçirici qapalı konturda yaranan induksiya EHQ bu konturla hüdudlanan səthdən keçən maqnit selinin dəyişmə sürəti ilə düz mütənasibdir.*

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \qquad (2)$$

(2) ifadəsindəki mənfi işarəsi onu göstərir ki, induksiya cərəyanının yaratdığı maqnit sahəsi bu cərəyanı yaradan xarici maqnit selinin dəyişməsinə mane olur.

Əgər kontur N sayda sarğıdan ibarət olarsa, (2) ifadəsini belə də yazmaq olar:

$$\varepsilon_i = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \qquad (3)$$

Burada ε_i — induksiya EHQ olub BS-də vahidi *voltdur* (IV):

$$[\varepsilon_i] = \frac{[\Delta\varphi]}{[\Delta t]} = 1\,\frac{Vb}{san} = 1V.$$

Maqnit sahəsinin enerjisi. Enerjinin saxlanması qanununa görə, qapalı konturda öz-özünə induksiya EHQ-nin yaranmasına səbəb olan iş onu yaradan maqnit sahəsinin enerjisinə bərabər olacaqdır. Bu enerjini təyin etmək məqsədilə ətalətlilik ilə öz-özünə induksiya hadisələrinin oxşarlığından istifadə etmək əlverişlidir. Belə ki, mexaniki hadisələrdə cismin m kütləsi onun υ sürətinin dəyişməsində hansı rola malikdirsə, elektromaqnit hadisələrində də konturun L induktivliyi ondan keçən I cərəyan şiddətinin dəyişməsində həmin rolu oynayır. Analoji olaraq elektromaqnit hadisələrində konturun yaratdığı maqnit sahə enerjisini mexaniki hadisələrdə cismin kinetik enerjisinə oxşar götürmək olar:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}. \qquad (3)$$

Bu ifadədə (1) düsturunu nəzərə aldıqda maqnit sahəsinin enerjisi üçün daha iki düstur yazmaq olar:

$$W_m = \frac{\varphi^2}{2L} = \frac{\varphi I}{2}. \qquad (4)$$

Nəzəri hesablamalardan müəyyən edilmişdir ki, *maqnit sahəsinin enerji sıxlığı maqnit induksiyasının kvadratından düz, mühitin maqnit nüfuzluğundan tərs mütənasib asılıdır:*

$$W_m = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}. \qquad (5)$$

Burada μ_0 — maqnit sabitidir: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{Hn}{m}$.

Dövrə hissəsi üçün Om qanunu. Naqildən elektrik cərəyanının keçməsi üçün onun uclarında potensiallar fərqinin olması zəruri şərtdir. Elektrik dövrəsinin ixtiyari hissəsinin uclanndakı potensiallar fərqi (elektrik gərginliyi) ədədi qiymətcə hamin hissə boyunca 1 *Kl* yük keçdikdə görülən işə bərabərdir:

$$U=\frac{A}{q}. \qquad (1).$$

Dövrə hissəsindən keçən cərəyan şiddəti həmin hissənin uclanndakı gərginlikdən asılıdır. Bu asılılıq 1827-ci ildə alman alimi Georq Om (1787-1854) tərəfindən təcrübi olaraq müəyyən edilmiş və ***Om qanunu*** adlanır.

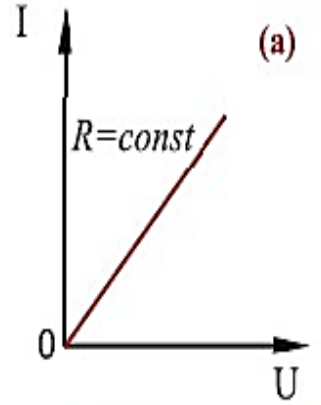
• *Dövrənin müəyyən hissəsindəki cərəyan şiddəti həmin hissənin uclanndakı gərginliklə düz, onun müqaviməti ilə tərs mütənasibdir:*

$$I=\frac{U}{R}. \qquad (2)$$

İstənilən növ naqildən keçən cərəyan şiddətinin onun uclanndakı gərginlikdən asılılığı naqilin *volt-amper xarakteristikası* (VAX) adlanır. Metal naqillər üçün VAX koordinat başlanğıcından keçən düz xətdir **(a)**.

• *Dövrə hissəsindəki cərəyan şiddətinin onun müqavimətinə hasili gərginlik düşküsü adlanır:*

$$U = IR. \qquad (3)$$



Burada R - naqilin müqavimətidir. O, naqilin əsas elektrik xarakteristikalarından biridir. Naqilin müqaviməti gərginlik və cərəyan şiddətindən asılı deyildir.

• *Metal naqilin müqaviməti onun materialından, həndəsi ölçülərindən və temperaturundan asılıdır.*

$$R = \rho\frac{l}{S}. \qquad (4)$$

Naqilin müqaviməti *ommetr* adlanan cihazla ölçülür. Cihazda müqavimət Ω (omeqa) simvolu ilə işarə edilir **(b)**. Cihazın birləşdirici naqillərini müqaviməti ölçülən metal məftilin uclarına toxundurmaq kifayət edir.

Tam dövrə üçün Om qanunu. Yuxanda deyilənlərdən belə nəticəyə gəlmək olar ki, sabit elektrik cərəyanı yalnız mənbə olan qapalı dövrədə mövcuddur. Qapalı dövrə (və ya tam dövrə) 2 hissədən - xarici və daxili hissədən ibarətdir. Xarici hissə birləşdirici naqil, elektrik işlədiciləri, elektrik ölçü cihazları ola bilər. Daxili hissə isə cərəyan mənbəyidir. Dövrənin xarici hissəsinin müqaviməti *xarici müqavimət (R)*, cərəyan mənbəyinin müqaviməti isə *daxili müqavimət (r)* adlanır. Ona görə də dövrənin tam müqaviməti bu iki müqavimətin cəminə bərabərdir:

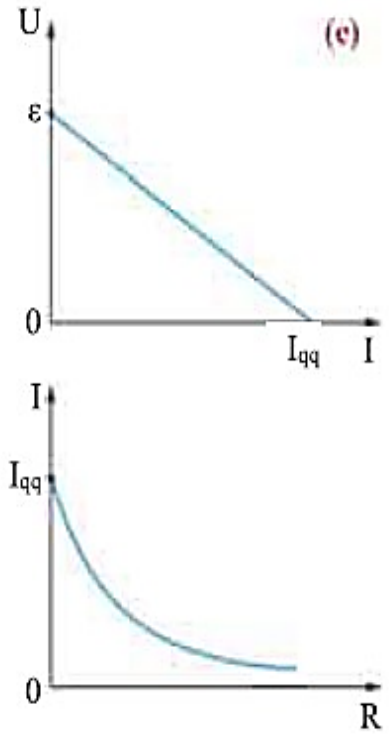
$$R_t = R + r. \qquad (2)$$

Qapalı dövrədə cərəyan mənbəyinin EHQ-si onun xarici və daxili hissəsindəki gərginliklər düşküsünün cəminə bərabərdir.

$$\varepsilon = IR + Ir. \qquad (3)$$

(3) ifadəsindən tam dövrədəki cərəyan şiddəti üçün almar:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \qquad (4)$$



Sonuncu düstur tam dövrə (qapalı dövrə) üçün Om qanununun riyazi ifadəsidir.

• *Tam dövrədəki cərəyan şiddəti mənbəyin EHQ-si ilə düz, dövrənin tam müqaviməti ilə tərs mütənasibdir.*

Tam dövrə üçün Om qanununu riyazi şəkildə belə də ifadə etmək olar:

$$\varepsilon = U + Ir. \qquad (5)$$

Burada U — dövrə qapalı olduqda mənbəyin qütblərindəki gərginlikdir.

Sabit cərəyan dövrəsi açıq olarsa ($R \to \infty$), $I = 0$ və $U = \varepsilon$ olar **(e)**. Deməli, *cərəyan mənbəyinin EHQ-ni ölçmək üçün voltmetri dövrənin açıq vəziyyətində mənbənin qütblərinə (sı- xaclanna) birləşdirmək lazımdır.*

Əgər cərəyan mənbəyinin qütbləri qısa qapanarsa ($R = 0$), dövrədəki cərəyan şiddəti yalnız cərəyan mənbəyinin daxili müqaviməti ilə təyin olunar. Ona görə də bu cərəyan şiddəti *qısaqapanma cərəyan şiddəti* adlanır (bax: **e**):

$$I_{qq} = \frac{\varepsilon}{r}. \qquad (6)$$

Cərəyan mənbəyinin daxili müqaviməti kiçik olduğundan qısaqapanma cərəyan şiddəti çox böyük qiymət alır və bu zaman cərəyan mənbəyi yanıb sıradan çıxa bilir.

Metallarda elektrik cərəyanı

Metallarda elektrik cərəyanını xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlər *cərəyan şiddəti* və *cərəyan sıxlığıdır.*

•*Cərəyan şiddəti - ədədi qiymətcə vahid zamanda naqilin en kəsiyindən keçən elektrik yükünün miqdarına bərabərdir.* Əgər naqilin en kəsiyindən Δt müddətində Δq miqdarda elektrik yükü keçərsə, cərəyan şiddəti:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q'(t) \qquad (2)$$

Deməli, *cərəyan şiddəti - elektrik yükünün zamana görə birinci tərtib törəməsinə bərabərdir.*

• *Cərəyan şiddətinin qiyməti və cərəyanın istiqaməti zaman keçdikcə dəyişmirsə, belə cərəyan sabit cərəyan adlanır.*

$$I = \frac{q}{t}. \qquad (3)$$

Cərəyan şiddəti skalyar fiziki kəmiyyət olub BS-də vahidi amperdir: $[I] = 1\ A$.

Cərəyan şiddətinin vahidi amper elektrik cərəyanmın maqnit təsirinə əsasən müəyyən edilmişdir.

• *1A elə cərəyan şiddətidir ki, vakuumda aralarındakı məsafə 1 m olan iki paralel sonsuz uzun və nazik naqillərin hər birindən eyni şiddətdə cərəyan keçdikdə onların hər birinin, digərinin 1 m uzunluqlu hissəsinə* $2 \cdot 10^{-7}$ *N qüvvə ilə təsir etmiş olsun.*

Cərəyan şiddəti yükdaşıyıcı zərrəciyin yükündən (q_0), onların konsentrasiyasından, istiqamətlənmiş hərəkət sürətindən və naqilin en kəsiyindən asılıdır:

$$I = q_0 n \upsilon S. \qquad (4)$$

Metallarda yükdaşıyıcılar sərbəst elektronlar (e) olduğundan (4) ifadəsini belə də yazmaq olar:

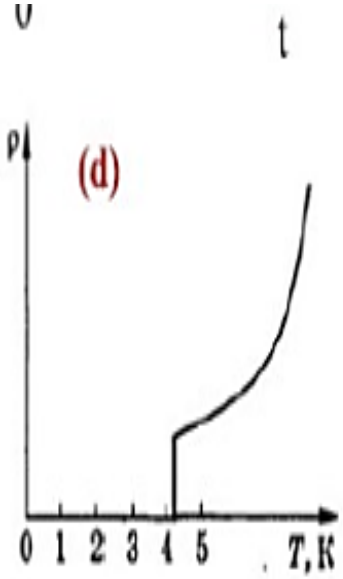
$$I = en\upsilon S. \qquad (5)$$

• *Cərəyan sıxlığı - ədədi qiymətcə naqildəki cərəyan şiddətinin onun en kəsik sahəsinə nisbətinə bərabər fiziki kəmiyyətdir.*

$$j = \frac{I}{S}. \qquad (6)$$

Cərəyan sıxlığı vektorial kəmiyyətdir. Cərəyan sıxlığı vektoru naqildən keçən cərəyan istiqamətində yönəlir. Onun BS-də vahidi *metr-kvadratında amperdir:*

$$[j] = 1\ \frac{A}{m^2}.$$



İfrat keçiricilik. Hollandiya fiziki Hayke Kamerlinq-Onnes (1853-1926) 1911-ci ildə təmiz civəni (aşqarsız) maye heliumda soyudan zaman onun xüsusi müqavimətinin əvvəlcə tədricən azaldığım, lakin 4,1 K temperaturunda isə sıçrayışla sıfıra qədər endiyini müşahidə etdi **(d)**. Bu hadisə *ifratkeçiricilik* adlandırıldı. 1913-cü ildə bu işlərinə görə Kamerlinq-Onnes fizika üzrə Nobel mükafatına layiq görülmüşdür.

• ***İfratkeçiricilik*** — *maddənin sonsuz xüsusi keçiriciliyə malik olmaq xassəsidir. Belə maddə müəyyən temperaturda xüsusi müqavimətini tamamilə itirir.*

1986-cı ildə alman fiziki Yohannes Bednors (1950) və İsveçrə fiziki Karl Müller (1927) tərkibinə mis, lantan və barium oksidi aşqan vurulmuş keramik materialında 30K temperaturunda ifratkeçiricilik xassəsi aşkar etdilər. Orlar *yüksək temperaturda ifratkeçiricilik* adlandırılan bu eksperimental işlərinə görə 1987-ci ildə fizika üzrə Nobel mükafatına layiq görüldülər. Hazırda müxtəlif aşqarh keramiklərdə ifiatkeçiriciliyi daha yüksək - 100K÷169K temperaturda almaq mümkün olmuşdur. Aparılan çoxsaylı təcrübələrdən ifiatkeçirici maddələrdə qeyri-adi xassələr aşkar edilmişdir. Məsələn, müəyyən edilmişdir ki, ifratkeçirici keramik məftildən hazırlanan elektromaqnitdə cərəyan yaratdıqdan sonra mənbə aradan qaldırılarsa, həmin elektromaqnitdə cərəyan şiddəti uzun müddət dəyişməz qalır. Belə elektromaqnit Coul-Lens istiliyi ayırmadığından (ifratkeçirici naqillərdə istilik təsiri olmur), o, uzun müddət güclü maqnit sahəsi yarada bilir. İfratkeçirici maqnitlər elementar yüklü zərrəciklərin sürətləndiricilərində, qaynar plazmanı idarə edən qurğularda və s.-də tətbiq olunur.

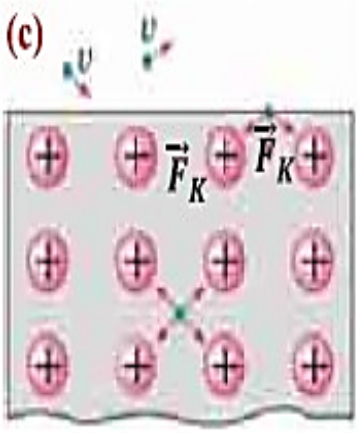
Vakuumun elektrik keçiriciliyi. *Vakuum (lat: "vakuus" - boş) - içərisində heç bir atom və molekul olmayan mühitdir.*

• *Texnika və tətbiqi fizikada vakuum dedikdə havası olduqca seyrəkləşdirilmiş mühit (təzyiqi atmosfer təzyiqindən dəfələrlə kiçik olan qaz) nəzərdə tutulur.*

Vakuum şəraiti yaradılan qabda (vakuum kamerasmda) qaz molekullannm sərbəst yolunun uzunluğu *(molekulun bir toqquşmadan digər toqquşmaya qədərki orta məsafəsi)* qabm ölçülərindən, yaxud mühitdəki elektrodlar arasındakı məsafədən çox böyük olur. Bu səbəbdən vakuum kamerasmda qaz molekullan, demək olar, bir-biri ilə toqquşmur. Onlar yalnız kameranın divarları və elektrodlarla toqquşur.

Vakuum ideal dielektrikdir (elektrik cərəyanını keçirmir), çünki orada heç bir sərbəst elektrik yükdaşıyıcısı yoxdur.

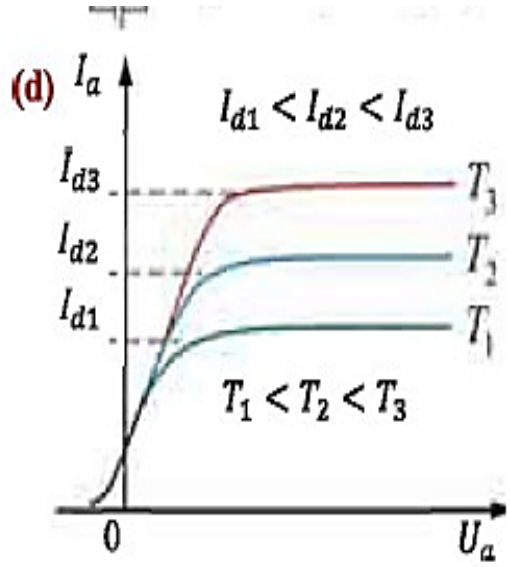
Vakuumdan elektrik cərəyanı keçirmək üçün oraya süni yolla sərbəst yüklü zərrəciklər daxil edilməli və həmin mühitdə elektrik sahəsi yaradılmalıdır. Vakuumda sərbəst yüklü zərrəciklər mənbəyi kimi metallardan istifadə edilir.Təbiidir ki, sərbəst elektronun metalı tərk edib vakuuma çıxması üçün o, kristal qəfəsin ionları ilə Kulon qarşılıqlı cazibə qüvvəsinə üstün gəlməlidir **(c)**. Bunun üçünsə elektron həmin qüvvəyə qarşı iş görməlidir. Görülən bu iş elektronun metaldan ***çıxış işi*** adlanır.



•*Çıxış işi* ***($A_ç$)*** *- elektronun metalı tərk edərək vakuuma çıxması üçün lazım olan enerjinin minimum qiymətidir. Çıxış işi yalnız metalın növündən asılıdır. Metalı elə elektron tərk edə bilər ki, onun kinetik enerjisi ilə çıxış işi arasında*

$$\frac{m_e U^2}{2} \geq A_ç \qquad (1)$$

münasibəti ödənilsin. Metaldakı sərbəst elektron daim ionlarla qarşılıqlı təsirdə olduğundan onun kinetik enerjisi kiçik olur və metalı tərk edə bilmir. Elektrona əlavə eneiji verilməklə onun metalı tərk etməsinə nail oluna bilər.



Vakuum diodunun volt-amper xarakteristikası (VAX).

Elektron cihazların əsas xarakteristikalarından biri onun VAX-ıdır. Təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki, vakuum diodunun VAX-ı qeyri-xəttidir **(d)**. Bunun səbəbi belə izah olunur: katodla anod arasında yaradılan gərginliyin müəyyən qiymətində katoddan çıxan bütün elektronlar anoda çatır. Gərginliyin sonrakı artımına baxmayaraq diodun qoşulduğu dövrədə cərəyan şiddəti dəyişmir - *doyma cərəyanı yaranır. Doyma cərəyan şiddəti vahid zamanda katodu tərk edən elektronların sayından asılıdır:*

$$I_d = \frac{eN}{t}. \qquad (2)$$

Doyma cərəyan şiddətinin qiyməti katodun temperaturundan asılıdır: katodun temperaturu artdıqca vahid zamanda emissiya edən elektronların sayı və doyma cərəyan şiddəti də artır (bax: **d**).

Qaz boşalması. Qazlar adi şəraitdə neytral atom və molekullardan təşkil olunduğu üçün dielektrikdir - elektrik cərəyanını keçirmir. Qazı keçirici etmək üçün onu ionlaşdırmaq lazımdır.

• *İonlaşma — neytral qaz atomunun (və ya molekulunun) elektron itirməsi və ya alması hesabına iona çevrilmə prosesidir.*

Elektronu neytral atomdan qopararaq onu müsbət iona çevirmək üçün elektron ilə nüvə arasında mövcud olan Kulon qarşılıqlı cazibə qüvvəsinə qarşı iş görülməlidir.

Elektronu neytral atomdan qoparmaq üçün zəruri olan minimum enerji ionlaşma enerjisi (W_i) adlanır.

Qazm ionlaşdınlması müxtəlif üsullarla həyata keçirilə bilər:

mühitə yanacaq alovu daxil etməklə (alovun tərkibi böyük miqdarda müsbət və mənfi ionlardan ibarətdir);

- qazı ionlaşdıra biləcək yüksək temperatura ($10^5 K$ dən yüksək) qədər qızdırmaqla. *Buna termik ionlaşdırma deyilir;*

- qazı rentgen, radioaktiv və kosmik şüalarla şüalandırmaqla;

- qazda güclü elektrik sahəsi yaratmaqla.

İonlaşmış qazın olduğu fəzada elektrik sahəsi yaradılarsa, qazdan elektrik cərəyanı keçər - qaz boşalması baş verər. Qaz boşalmasının iki növü var: qeyri-müstəqil boşalma və müstəqil boşalma.

0 t

Elektroliz qanunu. Qanun 1836-cı ildə ingilis alimi M.Faradey tərəfindən irəli sürülmüşdür. O, elektroliz hadisəsində kəmiyyətlər arasındakı asılılığın qanunauyğunluğunu müəyyən edir. Həmin asılılıqları biz də müəyyən edə bilərik. Bunun üçün ionun kütləsini m_{oi}, Δt müddətində elektroda çatan ionların sayını isə N_i ilə işarə etsək, həmin müddətdə elektrodda ayrılan maddənin kütləsi belə olar:

$$m = m_{oi} \cdot N_i. \qquad (1)$$

İonun kütləsi kimyəvi elementin molyar kütləsinə əsasən hesablanır:

$$m_{oi} = \frac{M}{N_A}. \qquad (2)$$

Burada N_A — Avoqadro ədədi, M — kimyəvi elementin molyar kütləsidir.

Δt müddətində elektroda çatan ionlann sayı həmin müddətdə məhluldan keçən elektrik yükünün (Δq) ionun yükünə (q_{oi}) olan nisbətinə bərabərdir:

$$N_i \frac{\Delta q}{q_{oi}} = \frac{I\Delta t}{q_{oi}}. \qquad (3)$$

Burada $\Delta q = I\Delta t$ olduğu nəzərə alınmışdır. İonun yükü onun valentliyi (n) ilə təyin edilir:

$$q_{oi} = n \cdot e. \qquad (4)$$

Beləliklə, (2), (3) və (4) ifadələrini (1)-də nəzərə aldıqda elektrodda ayrılan maddənin kütləsinin asılı olduğu kəmiyyətlər müəyyən olunar:

$$m = \frac{M}{n \cdot e \cdot N_A} \cdot \Delta q \qquad (5)$$

və ya

$$m = \frac{M}{n \cdot e \cdot N_A} \cdot I\Delta q \qquad (6)$$

(6) düsturunda $I\Delta t$ vuruğunun əmsalı verilmiş maddə üçün sabit kəmiyyətdir. Onu k ilə işarə etsək:

$$k = \frac{M}{n \cdot e \cdot N_A} \qquad (7)$$

elektrolizin I qanununun riyazi ifadəsini alarıq:

$$m = k \cdot \Delta q, \qquad (8)$$

və ya

$$m = k \cdot \Delta t, \qquad (9)$$

Elektrolitdən elektrik cərəyanı keçərkən elektrodda ayrılan maddənin kütləsi cərəyan şiddəti və onun keçmə müddətindən düz mütənasib asılıdır.

Mütənasiblik əmsalı olan k maddənin elektrokimyəvi ekvivalenti adlanır. Onun fiziki mənasını asanlıqla müəyyən etmək olar. Bunun üçün (2) və (4) ifadələrini (7)-də nəzərə almaq kifayət edər:

$$k = \frac{m_{oi}}{q_{oi}}. \qquad (10)$$

• *Maddənin elektrokimyəvi ekvivalenti - ədədi qiymətcə ionun kütləsinin yükünə olan nisbətinə bərabərdir. Onun tərs qiyməti, yəni zərrəciyin yükünün kütləsinə nisbəti* ($\frac{q}{m}$) ***xüsusi yük*** *adlanır.*

Elementar yükün Avoqadro ədədinə hasili *Faradey sabiti (və ya Faradey ədədi)* adlanır:

$$F = e \cdot N_A \qquad (11)$$

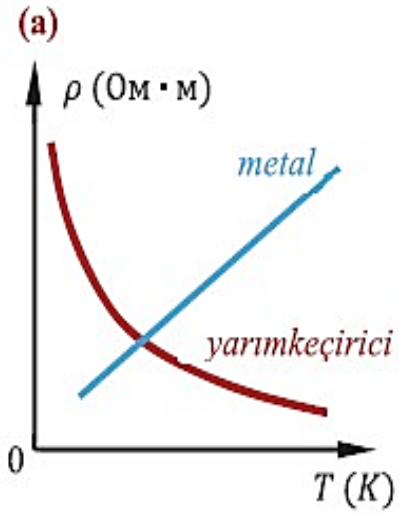
• *Faradey sabiti - ədədi qiymətcə elektrolit məhlulundan keçən zaman elektrod üzərində 1 mol maddə ayrılması ilə nəticələnən elektrik yükünə bərabərdir:*

$$F = \frac{M}{n} \cdot \frac{\Delta q}{m} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta q}{v}. \qquad (12)$$

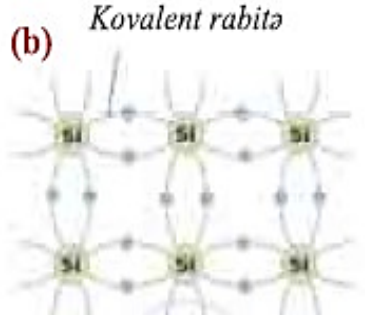
Yarımkeçiricilər. Yarımkeçiricilərin məxsusi keçiriciliyi. Yarımkeçiricilər elə maddələrdir ki, onların xüsusi müqaviməti otaq temperaturunda geniş diapazonu əhatə edir: $10^{-3} \div 10^{7}$ *Om • m*. Bu qiymət metalların xüsusi müqavimətindən ($10^{-8} \div 10^{-6}$ *Om • m*) böyük, dielektriklərin xüsusi müqavimətindən ($10^{10} \div 10^{16}$ *Om • m*) isə kiçikdir. Mütləq sıfıra yaxın temperaturda yarımkeçiricinin xüsusi müqaviməti çox böyükdür, temperatur artdıqda isə onun xüsusi müqaviməti azalır **(a)**.

Bunun niyə belə olduğu yarımkeçiricilərin fiziki-kimyəvi xassəsindən irəli gəlir; onu nəzərdən keçirək.

Yarımkeçiricilər kimyəvi elementlərin dövri sistemində yığcam qrup (əsasən, IV ÷ VI qruplar) təşkil edir. Elm və texnikada ən çox istifadə olunan yarımkeçirici element *germanium* və *silisiumdur*. Bu elementlər 4 valent elektronuna malikdir. Ona görə də kristalda hər bir atom, məsələn, silisium atomu 4 qonşu atomla sıx kovalent rabitə əmələ gətirir. Yaxın atomların elektron örtükləri bir-birini örtərək cüt elektron rabitəsi əmələ gətirir **(b)**.



Yarımkeçirici kristalda belə rabitələr kifayət qədər güclü olduğundan orada aşağı temperaturda, demək olar, sərbəst elektron yarana bilmir. Bu o deməkdir ki, aşağı temperaturda yarımkeçiricinin xüsusi müqaviməti çox böyükdür və o, elektrik cərəyanını keçirmir. Yarımkeçirici kristal xarici təsirə məruz qaldıqda, məsələn, kristalı qızdırdıqda və ya şüalandırdıqda bəzi elektronların kinetik enerjisi o qədər artır ki, onlar rabitəni qıraraq atomu tərk edir - sərbəstləşir.



Nəticədə yarımkeçirici maddənin kristal qəfəsinin kimyəvi rabitəsi qırılan hissəsində elektrik neytrallığı pozulur - elektronun tərk etdiyi yerdə müsbət elektrik yükü artıqlığı yaranır. Elektronun rabitədə boş qoyduğu vakant yer deşik adlanır.

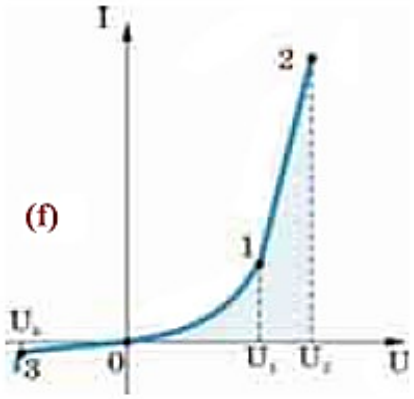
Deşik özünü modulu elektronun yükünə bərabər olan müsbət yük kimi aparır.

Elektronun boşaltdığı vakant yeri qonşu atomlardan birinin valent elektronu tutaraq həmin yerin elektrik neytrallığını bərpa edir. Lakin elektronunu itirən başqa atomda yeni deşik yaranır. Beləliklə, təmiz yanmkeçiricidə sərbəst elektronlar və deşiklər eyni zamanda əmələ gəlir və onların yüklərinin modulları eyni olur. Ona görə də yarımkeçiricidə elektrik sahəsi yaradıldıqda həm elektronlar, həm də deşiklər eyni zamanda, lakin əks istiqamətlərə nizamlı hərəkət etməklə maddənin elektrik keçiriciliyini təmin edir. Deməli,*yarımkeçiricidə elektrik cərəyanı iki növ yükdaşıyıcının, sərbəst elektronların və deşiklərin hərəkəti nəticəsində yaranır.*

Təmiz yarımkeçiricinin (tərkibində aşqar olmayan) elektrik keçiriciliyi məxsusi keçiricilik adlanır.

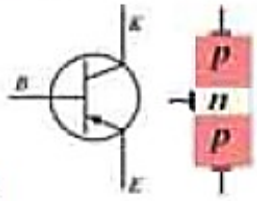
p-n keçidi: yarımkeçirici diod. *iki müxtəlif növ keçiriciyə malik yarımkeçirici kristalın (n-tip və p-tip kristalları) səthlərinin toxunma sərhədində yaranan birtərəfli keçid* ***p-n keçidi*** *adlanır.*

• *Yarımkeçirici diod (ikiyunan sözünün birləşməsidir: di - iki + odos - yol) bir p-n keçidinə malik olub xarici elektrik dövrəsinə qoşulmaq üçün iki çıxışla təchiz edilən cihazdır.* Dioddan o zaman cərəyan keçir ki, onun p-tip hissəsinə müsbət gərginlik verilsin. Diodun VAX-da onun düz və tərs keçidinin fərqi aydın görünür **(f)** . Qrafikin 0-3 hissəsi tərs keçidə uyğun olub, demək olar, gərginlikdən asılı deyil. Qrafikin 0-1 hissəsi cərəyanın gərginlikdən asılı olaraq qeyri-xətti, 1-2 hissəsi isə xətti artma halına uyğundur. *Diodun başlıca vəzifəsi p-n keçidin birtərəfli keçiricilik xassəsi əsasında dəyişən cərəyanı düzləndirməkdir.*

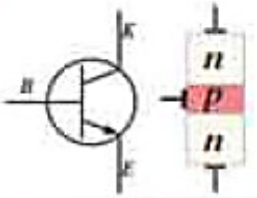


(f)

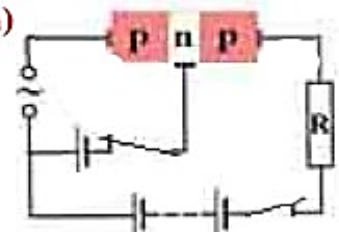
Tranzistor. Elektrik rəqslərini gücləndirmək və çevirmək məqsədilə tranzistor (tranzistor iki ingilis sözündən yaranıb: *transfer - aparıram + rezistor - müqavimət*) adlanan cihazdan istifadə olunur. Başqa sözlə desək, adi kran su axınının tənzimləyicisi rolunu necə oynayırsa, tranzistor da elektrik dövrəsindəki cərəyan şiddətinin tənzimlənməsində analoji rol oynayır. Tranzistor üç yarımkeçirici təbəqədən təşkil olunmuşdur: kənar təbəqələr eyni tip, ara təbəqə isə çox nazik başqa tip yarımkeçiricidir. Tranzistorda kənar təbəqələr uyğun olaraq ***emitter*** (ing. *emit* - şüalandırmaq, vermək) və ***kollektor*** (ing. *collect* - toplamaq), orta təbəqə isə ***baza*** adlanır. Tranzistorlar iki növ ola bilir: ***pnp*** və ***npn***. Dövrəyə birləşdirmək üçün tranzistorun üç çıxışı olur və növündən asılı olaraq elektrik dövrəsində xüsusi simvolla göstərilir **(g)**.



(g)

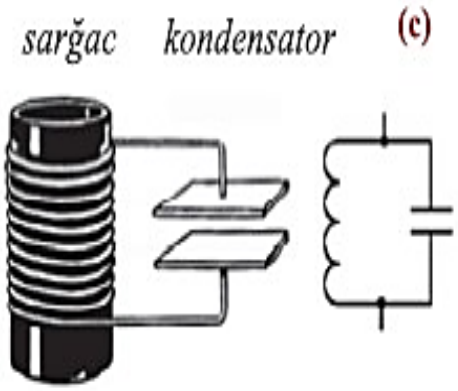


Tranzistor elektrik dövrəsinə iki cərəyan mənbəyi vasitəsilə qoşulur. Bu zaman emitter-baza keçidi düz keçid, baza-kollektor keçidi isə tərs keçid istiqamətində olur **(h)**. Məsələn, ***pnp*** tranzistorunda gücləndiriləcək siqnal emitter dövrəsinə verilir, kollektor dövrəsindən isə gücləndirilmiş siqnal alınır.

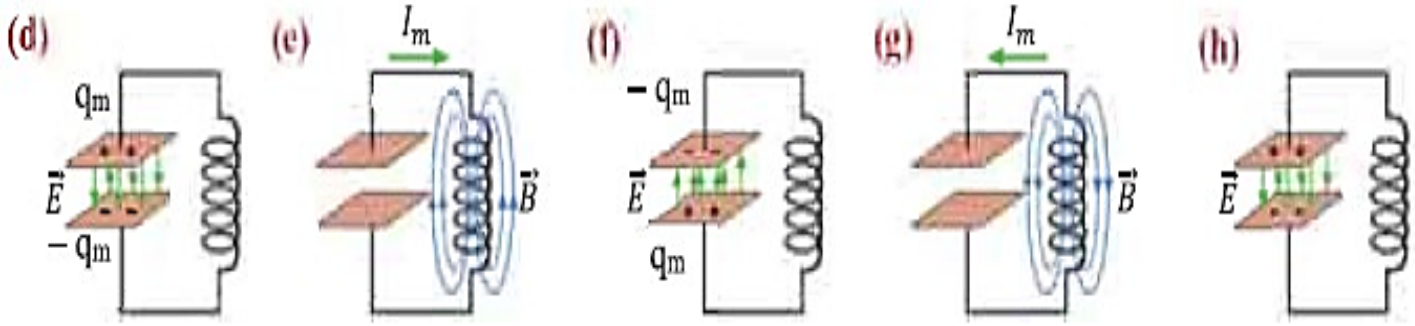


(h)

Sərbəst və məcburi elektromaqnit rəqsləri



Tutumu C olan kondensator və L induktivli sadə elektrik dövrəsinə nəzər yetirək (**c**). Belə elektrik dövrəsi ***LC-konturu*** adlanır. Əgər LC-konturunda kondensator yüklənərsə, o, dərhal boşalmağa və sarğacdan isə cərəyan keçməyə başlayar. Öz-özünə induksiya hadisəsinə görə sarğacdakı cərəyan şiddəti tədricən artır və kondensator tam boşaldıqdan sonra maksimal qiymətə çatır (**d** və **e**). Lakin bu cərəyan öz-özünə induksiya nəticəsində öz istiqamətini saxlamaqla boşalmış kondensatoru yenidən yükləməyə başlayır və cərəyan şiddəti tədricən azalır. Kondensator lövhələri başlanğıc miqdarda, lakin əksişarəli yüklə tam dolduğu an cərəyan şiddəti sıfıra bərabər olur (**f**). Kondensatorun sarğac vasitəsilə yenidən yüklənməsi periodik olaraq təkrarlanır (**g** və **h**).



Beləliklə, LC-konturunda elektrik və maqnit sahələrinin, onları xarakterizə edən kəmiyyətlərin - elektrik yükünün, cərəyan şiddətinin, gərginliyin və s.-nin periodik dəyişməsi baş verir. Bu halda deyilir ki, ideal LC-konturunda ***sərbəst elektromaqnit rəqsləri*** yaranmışdır. Ona görə də, adətən, belə LC-konturu ***ideal rəqs konturu*** (enerji itkisi baş verməyən kontur) adlanır.

• *Sərbəst elektromaqnit rəqsləri - rəqs konturunda kənar mənbələrdən enerji almadan elektrik və maqnit sahələrinin, onları xarakterizə edən kəmiyyətlərin - elektrik yükünün, cərəyan şiddətinin, gərginliyin və s.-nin periodik dəyişməsidir.*

Dəyişən cərəyanı xarakterizə edən digər kəmiyyətlər

Naqildən cərəyan keçdikdə elektrik enerjisinin daxili enerjiyə çevrilməsi prosesi baş verir, nəticədə naqil qızır. Dəyişən cərəyan dövrəsində ani gücün periodik dəyişməsinə baxmayaraq orta güc istənilən periodda sabit qalır:

$$\overline{P} = \frac{I_m \cdot U_m}{2} \cdot \cos\varphi_0. \qquad (5)$$

Burada $\cos\varphi_0$ — güc əmsalı olub dövrədə elektrik enerjisinin hansı hissəsinin dönməz olaraq daxili və ya mexaniki enerjiyə çevrildiyini göstərir. (5) ifadəsini belə də yazmaq olar:

$$\overline{P} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \cos\varphi_0 = IU\cos\varphi_0. \qquad (6)$$

(6) ifadəsindəki $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ və $\frac{U_m}{\sqrt{2}}$ nisbətləri uyğun olaraq dəyişən *cərəyan şiddətinin və gərginliyin təsiredici qiymətləri* adlamr:

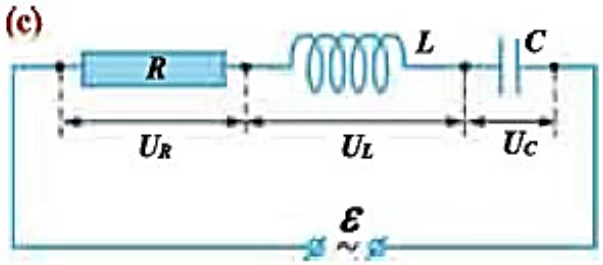
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ və } U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \qquad (7)$$

• *Cərəyan şiddətinin təsiredici qiyməti - naqildə eyni zaman müddətində dəyişən cərəyanın ayırdığı qədər istilik miqdarı ayıran sabit cərəyan şiddətinə bərabərdir.*

• *Dəyişən cərəyan dövrələrində istifadə olunan ampermetr və voltmetr cərəyan şiddəti və gərginliyin təsiredici qiymətlərini ölçür.*

Aktiv müqavimət

Əvvəlki dərsdə dəyişən cərəyan dövrəsinin xüsusi, demək olar, ideallaşdırılmış hallarını araşdırdınız. Real dəyişən cərəyan dövrələri isə eyni zamanda rezistor,sarğac və kondensatorlar sistemindən ibarət olur. Fərz edək ki, bu hissələrdən ibarət ardıcıl dövrə EHQ-si harmonik $\varepsilon = \varepsilon_m \sin\omega t$ qanunu ilə dəyişən cərəyan mənbəyinə qoşulmuşdur **(c)**. Belə dövrədən $i = I_m \sin(\omega t - \varphi_0)$ qanunu ilə dəyişən cərəyan keçəcəkdir. Burada φ_0 — dövrədəki cərəyan şiddəti ilə mənbəyin uclarmdakı ümumi gərginlik (EHQ) rəqsləri arasında mövcud olan müəyyən faza sürüşməsidir.



Om qanununa görə, dəyişən cərəyan şiddətinin və EHQ-nin (və ya dəyişən cərəyan dövrəsinin uclarındakı ümumi gərginliyin) amplitud qiymətləri bir-biri ilə əlaqəlidir:

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{Z} \text{ və ya } I_m = \frac{U_m}{Z}. \qquad (1)$$

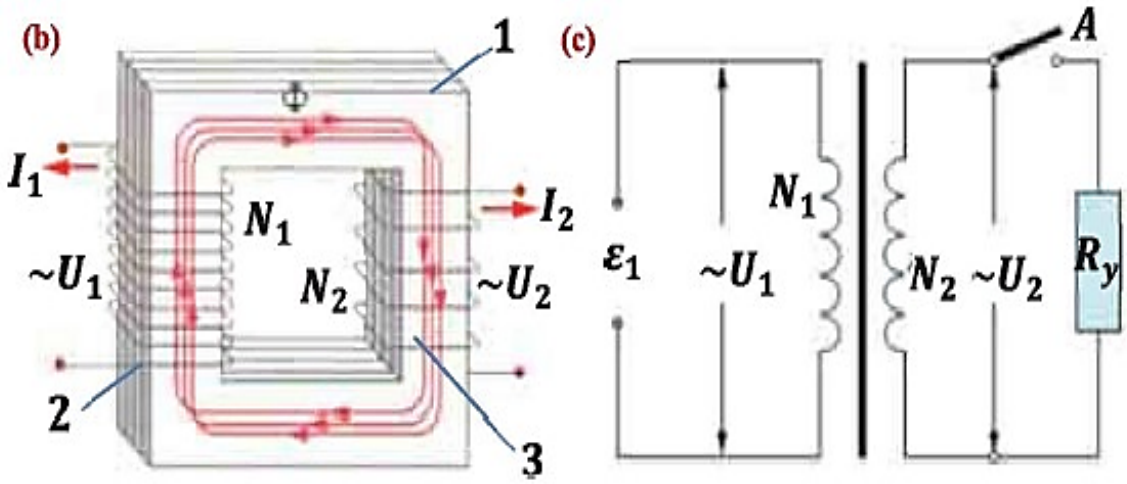
Burada U_m — dəyişən cərəyan dövrəsinin uclarmdakı ümumi gərginliyin amplitud qiyməti, Z — *dəyişən cərəyan dövrəsinin tam müqavimətidir.*

•*Dəyişən cərəyan dövrəsinin tam müqaviməti - dövrənin uclarındakı ümumi gərginliyin amplitud qiymətinin dəyişən cərəyan şiddətinin amplitud qiymətinə nisbətinə bərabər olan fiziki kəmiyyətdir.*

$$Z = \frac{U_m}{I_m}.$$

Transformator

• *Transformator (lat. "transformo " - çevirirəm) - dəyişən cərəyanın gücünü və tezliyini sabit saxlamaqla onun gərginliyini azaldıb-artıra bilən elektromaqnit qurğusudur.* Transformatorun sxematik təsviri və elektrik dövrəsində şərti işarəsi şəkildə təsvir edilmişdir (**b** və **c**). O, iki sarğacı olan qapalı polad lövhələrdən ibarət içlikdən (1) ibarətdir. Birinci sarğac (2) *giriş sarğacı* adlanır və dəyişən cərəyan mənbəyinə, ikinci sarğac isə (3) *çıxış sarğacı* adlanır və ümumi müqaviməti R_y olan işlədicilər ilə yüklənir.



Dəyişən cərəyan birinci sarğacdan keçəndə polad içliyi və onunla birlikdə ikinci sarğacı qapayan dəyişən maqnit seb yaradır. Hər iki sarğacdan eyni maqnit seli keçdiyindən onların hər bir dolağında $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ bərabər olan induksiya EHQ yaranır.Əgər birinci sarğacda N_1 dolaq, ikinci sarğacda N_2 dolaq olarsa, sarğaclarda yaranan induksiya EHQ uyğun olaraq:

$$\varepsilon_1 = -N_1 \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \text{ və } \varepsilon_2 = -N_2 \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Sarğaclarda yaranan induksiya EHQ-nin nisbətinə bərabər olan kəmiyyət *transformasiya əmsalı* (*K*) adlanır:

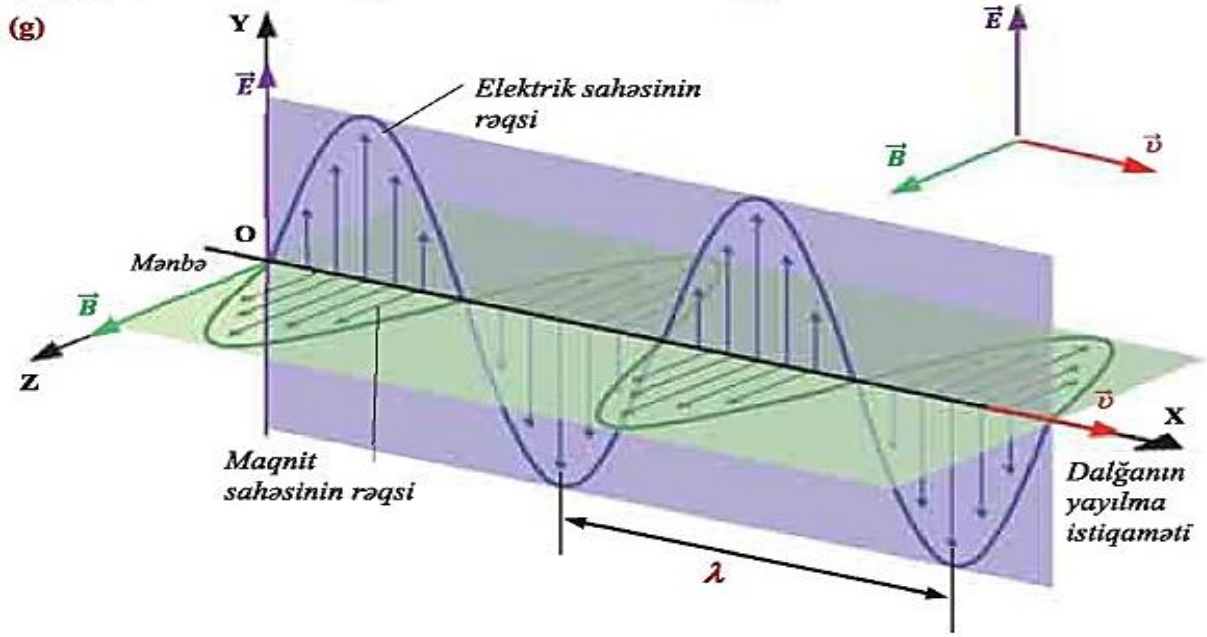
$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = K. \qquad (3)$$

Transformator boş-boşuna işlədikdə, yəni çıxış sarğacı açıq olduqda ($I_2 = 0$) həmin sarğacın uclarındakı gərginlik $|U_2| = |\varepsilon_2|$olur. Bu zaman giriş sarğacında da cərəyan şiddəti sıfıra yaxınlaşir: $I_1 \to 0$. Ona görə də giriş sarğacının uclarındakı gərginlik $|U_1| = |\varepsilon_1|$olur. Beləliklə, transformasiya əmsalı üçün alınır ki:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}. \qquad (4)$$

Elektromaqnit dalğaları

• *Elektromaqnit dalğası — dəyişən elektromaqnit sahəsinin fəzada yayılmasıdır. Elektromaqnit dalğası eninə dalğa olub elektrik sahə intensivliyi* $(\vec{E})$ *və maqnit sahə induksiyası* $(\vec{B})$ *vektorlarının fəzada qarşılıqlı perpendikulyar dəyişməsini xarakterizə edir* **(g)**.



Elektromaqnit dalğasının bəzi xassələri. Bunlar aşağıdakılardır:

• *Elektromaqnit dalğası eninə dalğadır. Belə ki, elektromaqnit dalğasında elektrik sahəsinin intensivlik vektoru* $(\vec{E})$*, maqnit sahə induksiyası vektoru* $(\vec{B})$ *və dalğanın sürət vektoru* $(\vec{\upsilon})$ *həmişə qarşılıqlı perpendikulyardır (bax:* **g***). Bu dalğanın yayıldığı fəzanın ixtiyari nöqtəsində intensivlik vektorunun modulunun dəyişməsi induksiya vektorunun modulunun dəyişməsi ilə mütənasibdir.*

• *Elektromaqnit dalğası həm vakuumda, həm də mühitdə yayıla bilir. Onun vakuumda yayılma sürəti işığın vakuumdakı sürətinə bərabərdir:*

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{san}. \qquad (1)$$

Burada ε_0 *və* μ_0 *— uyğun olaraq elektrik və maqnit sabitidir.*

Elektromaqnit dalğasının mühitdə sürəti işığın mühitdə yayılma sürətinə bərabər olub mühitin xassəsindən asılıdır:

$$\upsilon = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{n}. \qquad (2)$$

Burada ε *və* η *- uyğun olaraq mühitin dielektrik və maqnit nüfuzluğu, n - mühitin sındırma əmsalıdır.*

• Elektromaqnit dalğasının vakuumda dalğa uzunluğu:

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu} = cT. \qquad (3)$$

İşığın təbiəti. Bir neçə əsr işığm təbiətmə aid iki müxtəlif təsəvvür yer almışdır: *işığın korpuskulyar və dalğa təbiəti.*

İşığın korpuskulyar təbiətə malik olması təsəvvürünün banisi İ.Nyutondur. O hesab edirdi ki, işıq zərrəciklər (korpuskul) selidir. Bu təsəvvürə görə işığın düzxətli yayılma və qayıtma qanunları asanlıqla izah olunurdu.

İşığın dalğa təbiətinə malik olması təsəvvürünün banisi isə holland alimi Xristian Hüygensdir (1629-1695). Bu təsəvvürün yaranmasının başlıca səbəbi işıq şüalarının da dalğalar kimi bir-birinin içərisindən keçərək yayıla bilməsidir. XIX əsrdə ingilis alimi Tomas Yunq (1773-1829) apardığı təcrübələrlə işığın dalğa təbiətini təsdiq edən çoxsaylı faktlar aşkarladı. Elektromaqnit sahə nəzəriyyəsinin banisi C.Maksvell işığın elektromaqnit dalğa təbiətinə malik olduğunu nəzəri cəhətdən əsaslandırdı. Müasir təsəvvürlərə görə isə işıq və digər elektromaqnit dalğalan ikili - zərrəcik və dalğa təbiətinə malikdir.

İşığın dispersiyası. İşığın dalğa təbiətli olduğunu sübut edən hadisələrdən biri *işığın dispersiyasidir.*

• *İşığın dispersiyası - mühitin sındırma əmsalının düşən işığın tezliyindən (dalğa uzunluğundan) asılı olmasıdır.*

Bu hadisəni ilk dəfə ingilis alimi İsaak Nyuton tədqiq etmişdir. O, pəncərəni tam örtən qara pərdədə açılan kiçik dəlikdən keçən nazik günəş şüasının qarşısında üçüzlü şəffaf şüşə prizma yerləşdirir. Günəş şüası prizmadan keçdikdə görünən 7 rəngli tərkib hissəyə ayrılır. Dispersiya *spektri* adlanan bu hissələrdə rənglərin ardıcıllığı eyni olur: ***qırmızı, narıncı, sarı, yaşıl, mavi, göy, bənövşəyi.***

Monoxromatik (birrəngli) şüa adlandırılan rəngli şüalardan ən çox sınan bənövşəyi, ən az sınan isə qırmızı şüadır (bax: **a**). Hadisənin səbəbi işığın dalğa təsəvvürü əsasında izah edilir. Belə ki, mühitin mütləq sındırma əmsalı işığın verilən mühitdəki sürətinin vakuumdakı sürətindən neçə dəfə kiçik olduğunu göstərir:

$$n = \frac{c}{u} = \frac{\lambda_0}{\lambda}.$$

Burada λ_0 - işığın vakuumda dalğa uzunluğu, λ - işığın mühitdə dalğa uzunluğudur. Deməli, ən az sınmaya məruz qalan qırmızı işıq üçün mühitin sındırma əmsalı da ən kiçikdir. Bu isə o deməkdir ki, qırmızı işıq ən böyük dalğa uzunluğuna (və ya ən kiçik tezliyə) malikdir. Bənövşəyi şüa üçünsə əksinə, mühitin sındırma əmsalı ən böyükdür və bənövşəyi işıq ən kiçik dalğa uzunluğuna (və ya ən böyük tezliyə) malikdir. Sonralar aparılan təcrübələrdən müəyyənləşdirilir ki, görünən işığm dispersiya spektri elektromaqnit dalğalar şkalasında $\lambda_q = 7{,}6 \cdot 10^{-7}$m-dən (qırmızı) $\lambda_b = 3{,}8 \cdot 10^{-7}$ m-dək (bənövşəyi) hissəsini əhatə edir.

Dalğaların interferensiyası. Araşdırmada dalğa generatorunun harmonik və eyni tezlikli rəqsə gətirdiyi kürəciklərin su səthində yaratdığı *koherent dalğaları* müşahidə etdiniz.

• *Koherent dalğa - müxtəlif mənbələrdən yayılan, dalğa uzunluqları (tezlikləri) eyni olan və fazalar fərqi zamandan asılı olmayaraq sabit qalan dalğalara deyilir.*

Koherent dalğalar görüşdükdə onların mənbədən görüş nöqtəsinə qədər keçdikləri yollar fərqindən asılı olaraq yekun rəqslər ya güclənir, ya da zəifləyir - *dalğaların interferensiyası baş verir.*

• *Dalğaların interferensiyası (lat. "inter" - qarşılıqlı, "ferio" - vuraram) - koherent dalğaların toplanması nəticəsində yekun rəqslərin amplitudunun güclənməsi və zəifləməsidir.*

Toplanan dalğaların bir-birini gücləndirməsi və ya söndürməsi interferensiyanın maksimum və minimum şərti ilə müəyyən olunur.

İnterferensiyanın maksimumluq şərti. İnterferensiya maksimumu suyun (fəzanın) elə nöqtələrində müşahidə olunur ki, həmin nöqtələrdə toplanan dalğaların maksimumlan biri digərinin üzərinə düşür. O, dalğaların toplanma nöqtələrinə qədərki yollar fərqindən asılıdır.

• *Toplanan dalğaların yollar fərqi sıfır və ya cüt sayda yarımdalğa uzunluğuna (fazalar fərqi sıfırdır və ya cüt sayda π-dir) bərabər olan nöqtələrdə interferensiya maksimumu alınır* **(d)**:

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2} \cdot 2k. \qquad (1)$$

Burada $\Delta d = d_2 - d_1$ — koherent dalğaların toplanma nöqtələrinə qədərki yollar fərqi, k - maksimumun tərtibi olub k = 0,1,2,... tam ədədlərdir.

Koherent dalğalann fazalar fərqi ilə yollar fərqi arasında belə bir əlaqə vardır:

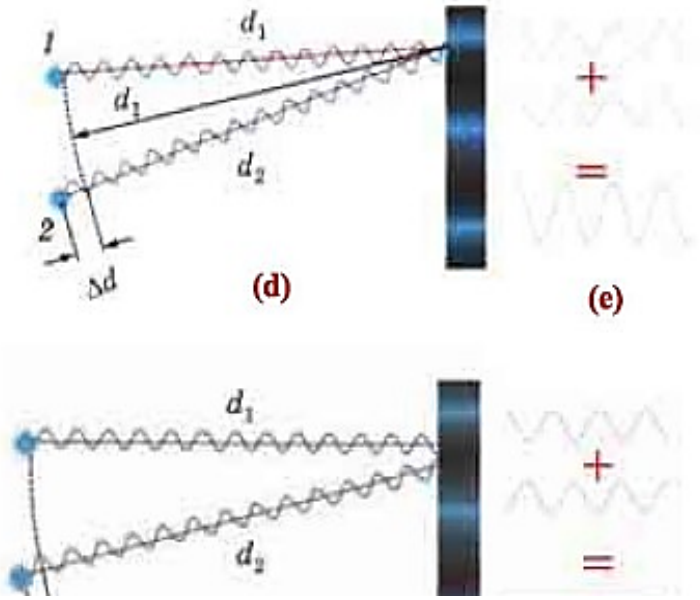
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta d. \qquad (2)$$

(2)-də (1) ifadəsini nəzərə alsaq, interferensiya maksimumunu fazalar fərqi üçün belə yazmaq olar:

$A\varphi = \pi \cdot 2k.$ (3)

Bu halda əgər dalğalann amplitudlan eynidirsə, onlann toplanması nəticəsində yekun rəqsin amplitudu toplanan rəqslərin amplitudları cəminə bərabər olur **(e)**:

$X_{max} = A + A = 2A$ (4)



İnterferensiyanın minimumluq şərti. İnterferensiya minimumu fəzanın elə nöqtələrində müşahidə olunur ki, toplanan dalğalar həmin nöqtələrə əks fazalarda gəlir. Belə halda bir dalğanın maksimumu digərinin minimumu üzərinə düşür. Nəticədə bu dalğalar bir-birini zəifladır.

• *Toplanan dalğaların yollar fərqi tək sayda yarımdalğa uzunluğuna (fazalar fərqi tək sayda π-yə bərabərdir) bərabər olan nöqtələrdə interferensiya minimumu alınır* ***(f)***:

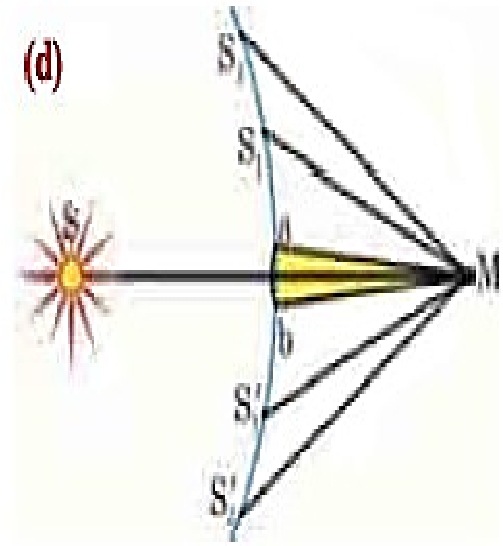
$$\Delta d = \frac{\lambda}{2} \cdot (2k + 1); \qquad (5)$$

$$\Delta\varphi = \pi \cdot (2k + 1). \qquad (6)$$

Bu halda əgər dalğaların amplitudları eynidirsə, onların toplanması nəticəsində yekun rəqsin amplitudu sıfıra bərabər olana qədər zəifləyəcək **(g)**:

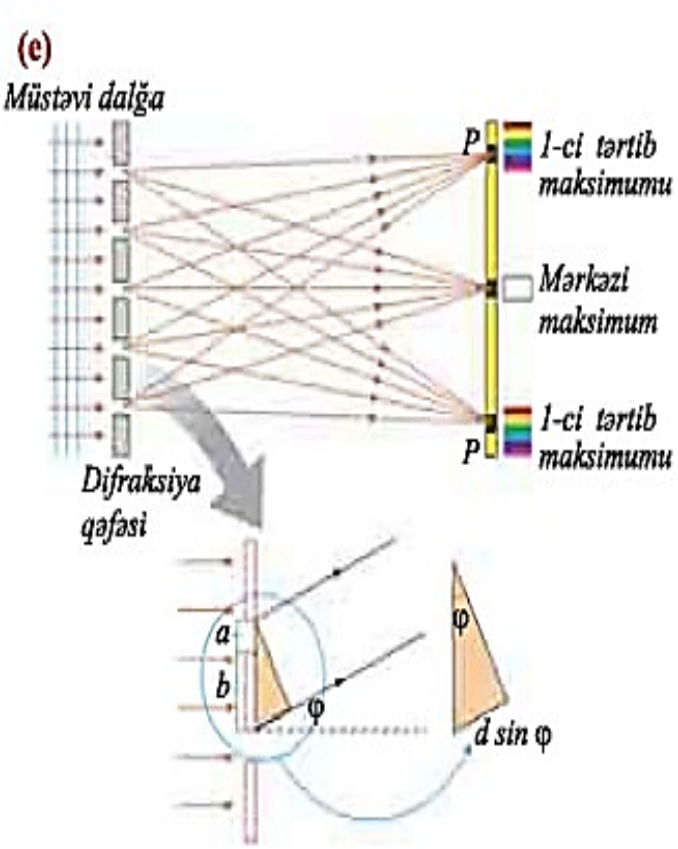
$$x_{max} = A + (-A) = 0. \qquad (7)$$

Hüygens-Frenelprinsipi. İşığın difraksiyası. Hüygens prinsipini inkişaf etdirən Frenelə görə, dalğa cəbhəsinin səthində yerləşən bütün ikinci mənbələr (S_1 S_2, S'_1, S'_2 və s.) *koherent dalğa mənbələridir.* Ona görə də *işığın difraksiyası* bu *koherent mənbələrdən* gələn koherent dalğaların fəzanın hər hansı M nöqtəsində toplanmasının — interferensiyasının nəticəsidir **(d)**.



• *İşığın difraksiyası - işığın düz xətt boyunca yayılma qanunundan kənara çıxaraq maneənin həndəsi kölgə sahəsinə daxil olması hadisəsidir.* Beləliklə, interferensiya prinsipi ilə Frenel tərəfindən tamamlanmış Hüygens prinsipi *Hüygens-Frenel prinsipi* adlanır.

Bu prinsip işığın difraksiyasını kəmiyyətcə izah etməyə imkan verdi. İşığın dalğa uzunluğu çox kiçik olduğundan onun difraksiyası da çox kiçik dəlikləri olan qeyri-şəffaf ekranda və ya cisimlərin sərhədində müşahidə oluna bilir. Ona görə də işığın difraksiyasını müşahidə etmək və kəmiyyətcə araşdırmaq üçün *difraksiya qəfəsi* adlanan xüsusi qurğudan istifadə olunur **(e)**.



• *Difraksiya qəfəsi - işığı spektrə ayıran və işığın dalğa uzunluğunu ölçməyə imkan verən optik qurğudur.*

Difraksiya qəfəsi çox kiçik məsafədə yerləşən N sayda qeyri-şəffaf cizgilərdən və onlar arasındakı şəffaf zolaqlardan ibarətdir (adətən, qurğunun 1mm hissəsində 500 ÷ 1200-ə qədər belə cizgi olur). Difraksiya qəfəsinə perpendikulyar düşən işıq şüaları φ zolaqlardan bucağı altında meyil edərək çıxır. Koherent dalğa mənbəyi olan bu zolaqlardan keçən şüaların interferensiyası nəticəsində ekranda difraksiyanm *maksimum* və *minimumları* alınır (bax: **e**).

Difraksiya qəfəsində maksimum şərti belədir.

$$d \cdot \sin\varphi = k\lambda. \qquad (1)$$

Burada d — *difraksiya qəfəsinin sabiti (və ya periodu)* adlanır: $d = a + b$. a və b — uyğun olaraq şəffaf zolaq və qeyri-şəffaf cizgilərin enidir, φ isə k tərtib maksimum verən şüanın meyil bucağıdır, k-nın maksimal qiyməti $\varphi = 90°$, $\sin 90° = 1$ olduqda alınır:

$$k_{max} = \frac{d}{\lambda} \qquad (2)$$

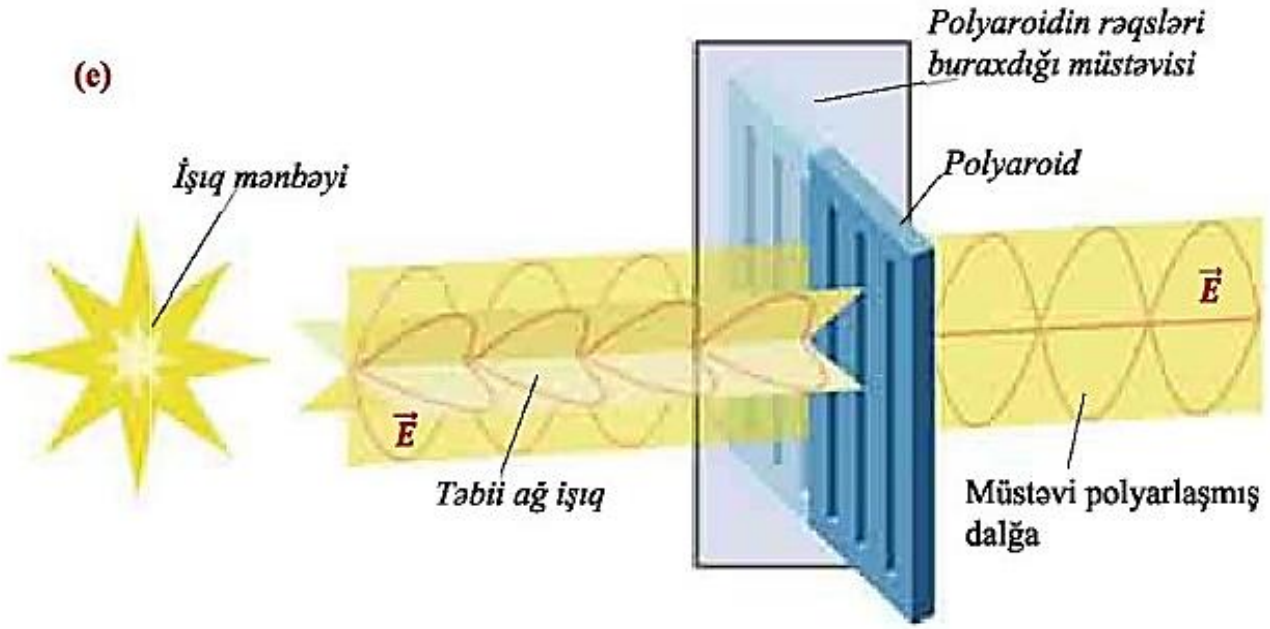
Difraksiya qəfəsindən keçən ağ işığın bütün maksimumlan (mərkəzi sıfınncı istisna olmaqla) rəngli almır. Mərkəzdən başlayaraq hər bir maksimum bənövşəyidən qırmızıya qədər 7 görünən rəng əks etdirir. Buna *difraksiya spektri* deyilir. Difraksiya spektrində alman şüalardan, dispersiya spektrindən fərqli olaraq ən çox meyil edən qırmızı, ən az meyil edən isə bənövşəyi rəngli şüadır.

Maksvell nəzəriyyəsinin mühüm nəticələrindən biri işığın eninə elektromaqnit dalğası olmasıdır. Bu nəzəriyyəyə görə, elektromaqnit təbiətli işıq dəyişən elektrik və maqnit sahələrinin $\vec{E}$ və $\vec{B}$ vektorlarının fəzada yayılan rəqsidir. Həmin rəqslər təbii işıq dalğalarında həm bir-birinə, həm də yayılma sürətinə perpendikulyar müstəvilər üzrə bütün istiqamətlərdə yayılır **(e)**; məsələn, Günəşin şüalandırdığı ağ işıq təbii işıq dalğasıdır.

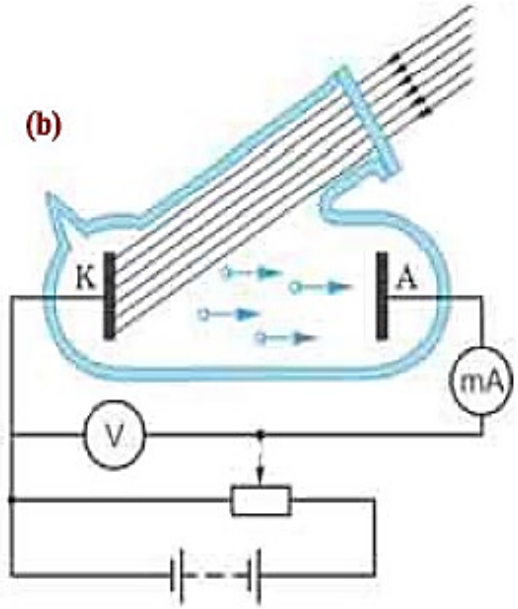
İnterferensiya və diffaksiya hadisələri həm eninə, həm də uzununa dalğalarda müşahidə edildiyindən işıq dalğasının eninə olduğunu təcrübi olaraq müəyyən etmək mümkün deyildir. Lakin elə optik hadisə vardır ki, onun köməyi ilə işıq dalğasının eninə elektromaqnit dalğası olduğu müəyyən edilə bilər. Həmin hadisə *işığın polyarlaşmasıdır.*

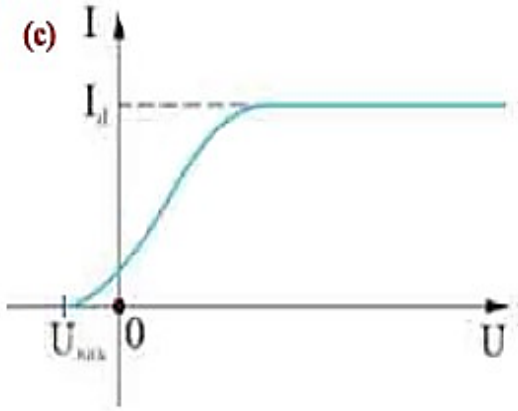
•*Polyarlaşmış işıq təbii işığın tərkibindən xüsusi qurğu vasitəsilə ayrılmış və müəyyən müstəvidə* $\vec{E}$ *və* $\vec{B}$ *vektorunun rəqslərinin üstünlük təşkil etdiyi hissəsidir* (bax: **e**).

İşığı polyarlaşdıran həmin qurğulardan biri turmalin kristalıdır. Turmalin lövhələr ilə aparılan təcrübələrdən biri belədir: lövhənin səthinə perpendikulyar istiqamətdə ağ işıq şüası yönəldilir. İlk baxışdan elə görünür ki, ondan keçən işıq dəyişmir. Əslində isə turmalin kristalı elə işıq dalğasmı keçirir ki, onun $\vec{E}$ vektoru müəyyən M müstəvisində rəqs edir (bax: **e**). Deməli, kristal lövhədən müstəvi polyarlaşan işıq şüası keçir. Belə lövhə *polyaroid* adlanır. İşığın həqiqətən polyarlaşdığını yoxlamaq üçün polyaroiddən keçən işığını qarşısına ikinci belə lövhə - *analizator* qoyulur.



Məlum olur ki, polyaroidlə analizatorun *00'* oxları paralel olduqda işıq hər iki lövhədən tam keçir **(f)**. Lövhələrin oxları arasındakı bucaq $0° < \alpha < 90°$ arasında dəyişərsə, onlardan keçən işığın intensivliyinin azaldığı - işığın qismən keçdiyi müşahidə olunur. Lakin lövhələrin *00'* oxları bir-birinə perpendikulyar olduqda işıq analizatordan keçmir **(g)**.





Fotoeffektin başvermə qanunauyğunluqlarını təcrübi olaraq 1888-1890-cı illərdə rus alimi Aleksandr Stoletov (1839-1896) *vakuum fotoelementinin* köməyi ilə müəyyən etdi **(b)**. Vakuum fotoelementi - içərisindən havası çıxarılmış şüşə balondan ibarətdir. Balon katod (K) və anodla (A) təchiz edilmişdir. İşıq şüası katodun üzərinə düşərək onun səthindən fotoelektronlan qoparır. Qopan elektronların bəziləri anoda çataraq katodla anod arasında fotocərəyan yaradır. Fotocərəyan milliampermetrlə, elektrodlar arasındakı gərginlik isə voltmetrlə ölçülür (bax: **b**). Bu təcrübə nəticəsində vakuum fotoelementinin VAX-ı alınmışdır **(c)**. Qrafikdən görünür ki, katodla anod arasındakı potensiallar fərqi müsbətdirsə və kifayət qədər böyükdürsə, fotocərəyan şiddəti də doyma qiymətinə (I_d) qədər artır. Deməli, bu halda fotoelektronların hamısı anoda çatır.

Əgər elektrodlar arasındakı potensiallar fərqi mənfidirsə (katodun cərəyan mənbəyinin müsbət, anodun isə mənfi qütbünə birləşdirildiyi hal) və modulca *saxlayıcı gərginlik* (U_{sax}) adlanan qiymətindən böyükdürsə, fotocərəyan şiddəti sıfıra bərabərdir. Bu onunla izah edilir ki, qopan fotoelektronlann kinetik eneıjisi mənfi qütblü anodun Kulon itələyici qüvvəsini dəf etməyə kifayət etmir. Belə halda enerjinin saxlanması qanununa və gərginliklə elektrik sahəsinin işi arasındakı əlaqəyə əsasən fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi ilə saxlama gərginliyi arasında qanunauyğunluğu müəyyən etmək olar:

$$\frac{mv^2_{max}}{2} = eU_{sax} \qquad (1)$$

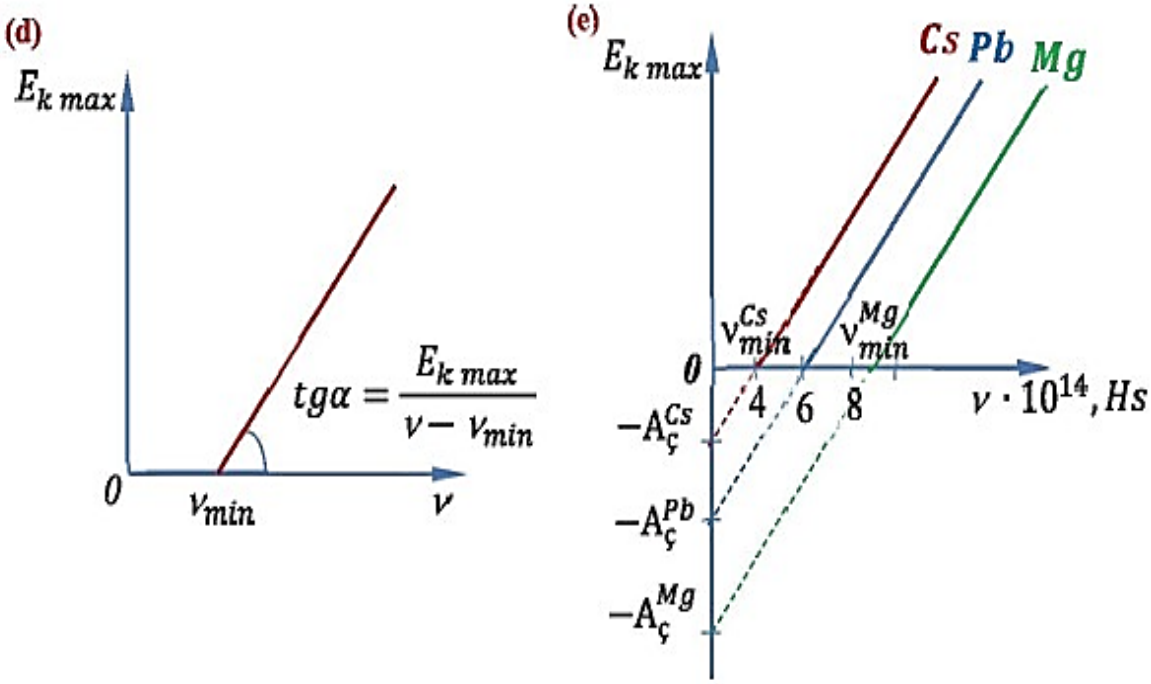
Apanlan çoxsaylı təcrübələrdən fotoeffektin aşağıdakı qanunlan müəyyən edildi:

1. İşığın metalın səthindən bir saniyədə qopardığı fotoelektronlann sayı işığın udulan enerjisi (intensivliyi) ilə mütənasibdir.

2. Fotoelektronlann maksimal kinetik enerjisi düşən işığın tezliyinin artmasından asılı olaraq xətti artır və işığın intensivliyindən asılı deyildir **(d)**.

3. Hər bir maddə üçün tezliyin minimum qiyməti (v_{min}) mövcuddur ki, düşən işığın tezliyinin qiyməti bu qiymətdən kiçik olarsa, fotoeffekt baş vermir (bax: **d**).

Hər maddənin özünəməxsus ν_{min} tezliyi vardır. Həmin tezlik ***fotoeffektin qırmızı sərhəd tezliyi*** *adlanır (verilmiş metal üçün qırmızı rəngə uyğun tezlik ən kiçik olduğu üçün belə adlandırılır).*



Fotoeffektin nəzəriyyəsi. Fotoeffektin nəzəri izahını Plank fərziyyəsindən istifadə edərək A.Eynşteyn verdi. Eynşteynin ideyasına görə, fotoeffekt hadisəsində hər bir elektronu bir foton (işıq kvantı) qoparır. Belə ki:

• *Elektron foton "udaraq" onun E = hν enerjisini qəbul edir. Bu enerji elektronun metaldan çıxış işinə və ona maksimal kinetik enerjinin verilməsinə sərf olunur.*

$$h\nu = A_ç + E_{k\,max} \text{ və ya}$$

$$h\nu = A_ç + \frac{mv^2_{max}}{2}. \qquad (2)$$

Eynşteyn tənliyi fotoeffektin qanunlarını və hər maddə üçün qırmızı sərhədin mövcud olduğunu izah edir (**cədvəl 4.1**). Belə ki, çıxış işi maddənin növündən asılı olduğuna görə müxtəlif maddələr üçün qırmızı sərhəd tezliyi də müxtəlifdir **(e)**:

$$\nu_{min} = \frac{A_ç}{h}. \qquad (3)$$

(1) düsturunda (2) və (3) ifadələri nəzərə almarsa, hər bir metal üçün saxlayıcı gərginliyin tezlikdən asılılığını müəyyən etmək olar:

$$U_{sax}(c) = \frac{h}{e}(\nu - \nu_{min}). \qquad (4)$$

Plank fərziyyəsi. Alimlər maddə ilə şüalanma arasında istilik tarazlığı şərtlərini araşdırdıqda nəzəriyyə ilə təcrübə arasında çox ciddi fərq aşkar etdilər. Belə ki, Maksvellin elektromaqnit nəzəriyyəsinə əsaslanan hesablamalar göstərdi ki, maddə ilə şüalanma arasında *istilik tarazlığı yalnız mütləq sıfır temperaturunda* (-273°C-də) *mövcud ola bilər*. Bu o deməkdir ki, əgər cismin temperaturu mütləq sıfırdan yüksəkdirsə, o, mütləq sıfıra qədər soyuyanadək öz daxili enerjisini fasiləsiz olaraq elektromaqnit sahəsinə verməlidir - elektromaqnit dalğası şüalandırmalıdır. Əgər belə olsa idi, kainatdakı bütün cisimlər, o cümlədən Günəş çoxdan öz daxili enerjisini elektromaqnit sahəsinə verib -273°C-yə qədər soyumalı idi.

Təcrübə isə təkzibedilməz dəlillərlə sübut etdi ki, maddə ilə şüalanma arasında istilik tarazlığı bütün temperaturlarda mövcuddur. Belə tarazlıq cismin elektromaqnit dalğası şüalandırması və udması nəticəsində yaranır.

1900-cü ilin dekabrında alman alimi Maks Plank (1858-1947) "Almaniya Fizika Cəmiyyəti"ndə çıxış edərək irəli sürdüyü yeni fərziyyə ilə eksperimentə zidd olan nəzəriyyədə ciddi düzəliş etdi.

Plank fərziyyəsi belədir:

•*Atomun elektromaqnit enerji şüalandırması kəsilməz deyil, diskretxarakter daşıyır. Şüalanma kvantlarla (*lat *"quantum "* - say, miqdar*) - kiçikporsiyalarla baş verir.*

Kvantın (sonralar o, ***foton*** *adlandırıldı) enerjisi şüalanma tezliyi ilə mütənasibdir.*

$$E = h\nu. \qquad (1)$$

Burada mütənasiblik əmsalı h — *Plank sabiti* adlanır. Dünyəvi sabit olan Plank sabitinin ədədi qiyməti təcrübədən təyin olunmuşdur: $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34} C \cdot$ san.

A.Eynşteyn bu fərziyyəni belə əsaslandırdı ki, *diskretlik şüalanma (və ya udulma) mexanizmindən deyil, şüalanmanın (və ya udulmanın) özünün diskret quruluşundan -yəni şüalanmanın kvantlardan (porsiyalardan) ibarət olmasından irəli gəlir.*

Fotonun (kvantın) xassələri. Foton müasir təsəvvürlərə görə aşağıdakı xassələrə malikdir:

1. Foton atomda sərbəst halda mövcud deyil, o, atomun enerji səviyyəsinin dəyişməsi zamanı yaranır.

2. Foton yaşama müddətinə görə davamlı zərrəcikdir.

3. Foton bölünməz zərrəcikdir - onun tərkib hissəsi müəyyən olunmayıbdır.

4. Foton elektrik cəhətdən neytraldır və onun digər fotonlarla qarşılıqlı təsiri aşkarlanmayıbdır.

5. Fotonun istənilən hesablama sistemində hərəkət sürəti sabit olub işığın vakuumdakı sürətinə bərabərdir: $c = const \approx 3 \cdot 10^8 m/san$.

Fotonun sürəti onun enerjisindən asılı deyildir.

6. Foton impulsa malikdir. Nisbilik nəzəriyyəsinə görə fotonun impulsu:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \qquad (2)$$

Bu düstur işığın ikili (dualist) xassəyə malik olduğunu "qanuniləşdirir yəni işıq həm impulsa malik zərrəciklər (foton) seli, həm də A uzunluğuna malik elektromaqnit dalğasıdır. Beləliklə, (2) ifadəsi materiyanın fundamental qanunauyğunluğunu - dalğa və zərrəcik dualizmini təsdiqləyir.

Fotonun impulsa malik olduğunu təcrübi şəkildə ilk dəfə ingilis fiziki və kimyaçısı Vilyam Kruks (1832-1919) hazırladığı vakuum tərəzisində müşahidə etmişdir.

***"Kruks radiometri"** adlandırılan bu cihaz işıq fotonlarının impulsunun təsiri nəticəsində işləyir* (bax: **a**).

7. Foton maddə ilə qarşılıqlı təsir zamanı udula, səpilə və yeni fotonun yaranmasına səbəb ola bilir.

8. Foton nüvə sahəsində elektron və pozitron cütünə çevrilə bilir:

$$\gamma \rightarrow e^{-1} + e^{+1}.$$

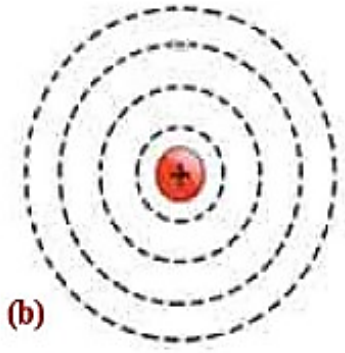
Bu çevrilmə isə materiyanın digər fundamental qanunauyğunluğunu, maddə ilə fiziki sahə arasında qarşılıqlı əlaqənin mövcudluğunu təsdiqləyir.

Borun kvant postulatları. 1913-cü ildə danimarkalı alim Nils Bor (1885-1962) Plankın işıq kvantları fərziyyəsinə əsaslanaraq atomun kvant nəzəriyyəsinə aid işlərini nəşr etdirdi. Bu nəzəriyyədə o, üç postulat əsasında atomun planetar modelinin çətinliklərini kvant təsəvvürləri əsasında aradan qaldırdı.

Borun birinci postulatında atomda elə halların mövcud olduğu əsaslandırılır ki, həmin hallarda təcillə hərəkət edən elektronlar elektromaqnit dalğaları şüalandırmır.

• ***I postulat*** *- atom klassik fizika qanunlarına tabe olan hallarda deyil, xüsusi kvant (və ya stasionar) hallarda mövcud ola bilir. Hər bir kvant halı müəyyən En enerjisinə malikdir. Atom stasionar halında elektromaqnit dalğası şüalandırmır* **(b)**.

Borun ikinci postulatında atomda işığın udulma və şüalanma prosesi izah edilir.



• ***II postulat*** *- atom bir stasionar haldan digərinə keçdikdə enerjisi $h\nu_{mn}$ olan bir işıq kvantı şüalandırır və ya udur. Şüalanan və ya udulan kvantın enerjisi stasionar halların enerjiləri fərqinə bərabərdir:*

$$h\nu_{mn} = E_m - E_n. \qquad (1)$$

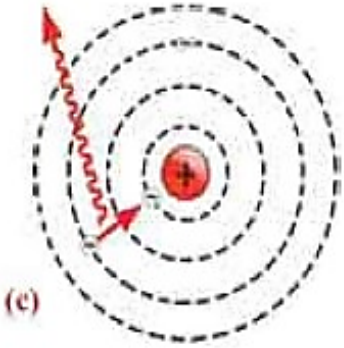
Buradan alınır ki, şüalanma tezliyi:

$$V_{mn} = \frac{(E_m - E_n)}{h} = \frac{E_m}{h} - \frac{E_n}{h}. \qquad (2)$$

Atom böyük enerjili stasionar haldan kiçik enerjili stasionar hala keçdikdə şüalanma baş verir:

$$E_m < E_n$$

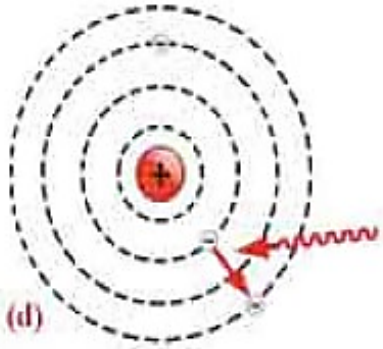
Bu zaman elektron bir kvant şüalandıraraq uzaq orbitdən nüvəyə yaxın orbitə keçir **(c)**.



Atom bir işıq kvantı udduqda isə o, kiçik enerjili stasionar haldan böyük enerjili stasionar hala keçir:

$$E_m > E_n.$$

Bu zaman elektron nüvəyə yaxın orbitdən uzaq orbitə keçir **(d)**.



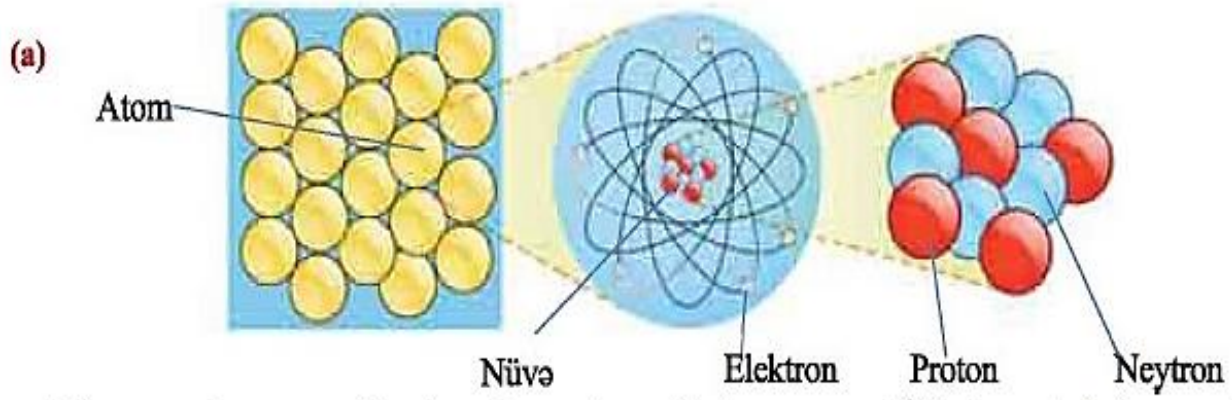
Atomun enerji səviyyələri. *Bor hidrogen atomunun stasionar hallarının enerjisi üçün aşağıdakı düsturu müəyyən etdi:*

$$E_n = -\frac{E_0}{N^2}. \qquad (3)$$

Burada E_0 = 13,6 eV minimum enerji halında olan hidrogen atomunun ionlaşma enerjisi, n - baş kvant ədədidir. Baş kvant ədədinin *n* = 1 olan stasionar halı *atomun əsas halıdır* və bu halda o, enerji şüalandırmır.

Atomun $n > 1$ olan bütün halları onun həyəcanlanmış halıdır. Atom həyəcanlanmış halda çox qala bilmir, şüalanma yolu ilə yenə minimum enerji halına qayıdır.

Atom nüvəsinin quruluşu. Atom nüvəsi nuklonlar adlanan iki növ zərrəciklərdən - müsbət yüklü protonlardan və elektrik cəhətdən neytral olan neytronlardan təşkil olunmuşdur **(a)**.



Adətən, hidrogen atomunun nüvəsi proton adlanır. O, $^{1}_{1}p$ və yaxud $^{1}_{1}H$ simvolu ilə işarə edilir. Protonun xarakteristikaları belədir: $m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27} kq$; $q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19} Kl = e$; nüvədən kənar sərbəst yaşama dövrü $r > 10^{32}$ ildir.

Neytron $^{1}_{0}n$ simvolu ilə işarə olunur və məlum xarakteristikaları belədir: $m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27} kq$; $q_n = 0$; nüvədən kənar sərbəst yaşama dövrü $\tau \approx 886$ *san*-dir.

Proton elementar zərrəcik modelinə görə iki **u** və bir **d** kvarkından ibarətdir **(b)**. Kvarklar kəsrli elektrik yükünə malik zərrəciklərdir:

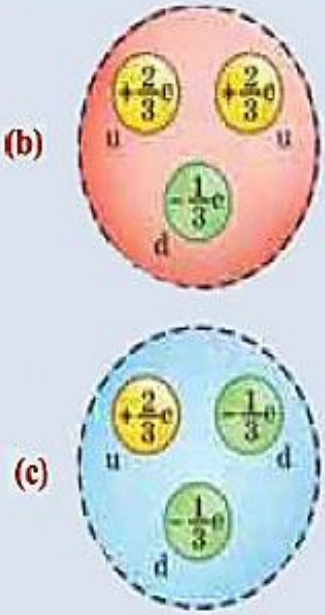
$$u = +\frac{2}{3}e;\ d = -\frac{1}{3}e.$$

Beləliklə, protonun yükü: $p = u + u + d = e$, yaxud:

$$p(uud) \rightarrow +\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = e.$$

Neytronun daxili quruluşu isə bir **u** və iki **d** kvarkmdan ibarətdir **(c)**. Ona görə də neytron elektrik cəhətdən neytraldır (yükü sıfıra bərabərdir): $n = u + d + d = 0$, yaxud:

$$n(udd) \rightarrow +\frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e - \frac{1}{3}e = 0.$$



Nüvə qüvvələri

Nüvənin dayanıqlığı onu təşkil edən proton və neytronlar arasında *nüvə qüvvələri* (və ya *güclü qarşılıqlı təsir qüvvələri*) adlanan xüsusi cazibə xarakterli qüvvələrin mövcud olmasındadır.

• *Nüvə qüvvələri - nuklonlan nüvədə saxlayan və onun dayanıqlığını təmin edən qüvvələrdir.*

Bu qüvvələrdə aşağıdakı xüsusiyyətlər aşkar edilmişdir:

1) cazibə xarakterli qüvvələrdir;

2) nüvə ölçüləri dairəsində protonlar arasında mövcud olan itələmə xarakterli Rulon qüvvələrindən 100 dəfə böyükdür;

3) yaxmatəsir xarakterlidir - nüvə ölçüləri dairəsində ($10^{-15} \div 10^{-14} m$) meydana çıxır;

4) nuklonlar arasındakı nüvə qarşılıqlı təsir qüvvələri elektrik yükündən asılı deyildir: protonla - proton, protonla - neytron və neytronla - neytron arasındakı nüvə qüvvələri eynidir;

5) doyma xassəsinə malikdir: bu o deməkdir ki, nüvə daxilindəki nuklonlar yalnız yaxm "qonşuluqdakı" zərrəciklərlə qarşılıqlı təsirdə ola bilir;

6) mərkəzi təsir xarakterli deyildir, yəni nüvə qüvvələri qarşılıqlı təsirdə olan nuklonların mərkəzlərini birləşdirən xətt boyunca yönəlmir.

Nüvənin rabitə enerjisi. Aparılan çoxsaylı eksperimentlərdən müəyyən olunmuşdur ki, atomun kütləsi onu təşkil edən zərrəciklərin (proton, neytron və elektronların) sərbəst haldakı kütlələri cəmindən kiçikdir. Buna görə də nüvənin E_1 enerjisi onu təşkil edən sərbəst nuklonların E_2 enerjisindən $\boldsymbol{\Delta E = E_2 - E_1}$ qədər kiçik olmalıdır. Araşdırmada bunu sübut etdiniz: helium ^4_2He nüvəsi üçün ΔE = 27,215 MeV alındı. Lakin bu heç də o demək deyildir ki, nuklonlar nüvəni əmələ gətirdikdə təbiətin fundamental qanunu olan enerjinin saxlanması qanunu pozulmuşdur. Ona görə ki, atom nüvəsini nuklonlara ayırmaq üçün onlar arasındakı güclü nüvə qüvvələrinə qarşı iş görmək lazımdır - enerji sərf olunmalıdır. Deməli, nuklonların sərbəst haldakı enerjilərinin cəmi nüvənin enerjisindən böyük olmalıdır ki, onlar birləşib nüvə əmələ gətirdikdə, yaxud əksinə, nüvəni proton və neytrona ayırdıqda həmin artıq enerjinin şüalanması baş versin. Beləliklə, eneıjinin saxlanması qanunu təmin olunur!

• *Nüvəni sərbəst nuklonlara parçalamaq üçün lazım olan minimum enerji* ***nüvənin rabitə enerjisi*** *adlanır.*

$$E_{rab} = [Zm_p + (A - Z)m_n - M_n] \cdot c^2. \qquad (1)$$

Bilirsiniz ki, (1) düsturunda orta mötərizədəki ifadə **kütlə defekti** adlanır.

• ***Kütlə defekti*** *- nüvəni təşkil edən sərbəst nuklonlann kütlələri cəmi ilə nüvə kütləsinin fərqidir:*

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - M_N. \qquad (2).$$

Kütlə *atom kütlə vahidi* (a.k.v.) ilə ölçüldükdə rabitə enerjisinin MeV-lə ifadə olunan qiymətini belə yazmaq olar:

$$E_{rab}\, 931{,}5 \cdot \Delta m \qquad (3)$$

Əgər (3) düsturuna əsasən nüvənin rabitə enerjisini hesablayıb alman qiyməti nuklonların sayına bölərik sə, bir nuklona düşən rabitə enerjisini - xüsusi rabitə enerjisini təyin etmiş olarıq:

$$\varepsilon = \frac{E_{rab}}{A} = \frac{931{,}5\text{-}\Delta m}{A}. \qquad (4)$$

Uran nüvəsinin bölünməsi. Ağır nüvələrin bölünməsi ilə nəticələnən nüvə reaksiyaları digər reaksiyalardan nəhəng miqdarda enerji ayrılması ilə müşayiət olunur. Bu, xüsusi rabitə enerjisinin kütlə ədədindən asılılıq qrafikindən də aydın görünür (bax: ***mövzu 4.7***). Məsələn, uran $^{235}_{92}U$ nüvəsinin xüsusi rabitə enerjisi ≈ $7{,}6\,\frac{MeV}{nuklon}$ təşkil edir. Kimyəvi elementlərin dövri sisteminin ortalarında yerləşən nüvələrin isə xüsusi rabitə enerjisi maksimal qiymətə - təqribən 8,8 $\frac{MeV}{nuklon}$ -a qədərdir.Bu o deməkdir ki, əgər ağır uran nüvəsi 2-3 sayda nisbətən yüngül nüvəyə bölünərsə, onun hər nuklonuna düşən rabitə enerjisi ≈ 1 MeV qədər artmalıdır. Uran nüvəsində nuklonların sayı 235 olduğundan onun nisbətən yüngül nüvələrə bölünmə reaksiyasında enerjisi ≈ 200MeV qədər artmalıdır. Enerjinin saxlanması qanununa görə, ağır nüvənin hər bölünmə reaksiyasında da həmin miqdarda enerji ayrılması baş verir.

Bu nəzəri hesablamalar ilk praktik təsdiqini 1939-cu ildə alman alimləri Otto Han (1879-1968) və FritsŞtrassman (1902-1980), Avstriya alimləri Liza Meytner (1878-1968) və Otto Friş (1904—1979) tərəfindən aparılan nüvənin bölünmə reaksiyalarında tapdı. Çoxsaylı eksperimentlər nəticəsində müəyyən olundu ki, uran $^{235}_{92}U$ nüvəsi neytronlarla bombardman edildikdə o, kütlə ədədləri bir-birinə yaxın olan iki radioaktiv nüvəyə (bunlar bəzən "qəlpələr" adlanır) bölünür. Hər belə bölünmədə 2-3 yeni neytron və 200 MeV enerji ayrılır.

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{236}_{92}U)^{*} \rightarrow ^{140}_{55}Cs + ^{194}_{37}Rb + 2^{1}_{0}n + 200MeV.$$

Qəlpələr, adətən, β^- radioaktiv nüvələr olur. Ona görə də həmin nüvələr dayanıqlı izotoplara çevrilənə qədər bir neçə ardıcıl β^- çevrilməsinə məruz qalır **(b)**.

Nüvə reaksiyasında ayrılan enerjinin əsas hissəsi (≈165MeV) bölünmədən yaranan qəlpələrin kinetik enerjisinin, qalan hissəsi isə müxtəlif şüalanmaların payına düşür **(c)**.

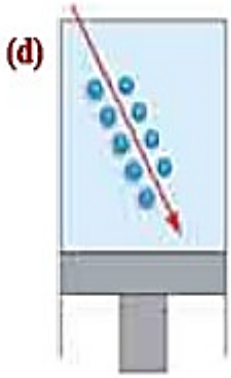
Elementar zərrəciklərin qeydəalınma üsulları. Zərrəcikləri qeydə almaq və onların xassəsini xarakterizə etmək üçün müxtəlif qurğulardan istifadə olunur. *Bu qurğuların iş prinsipi, əsasən, yüklü zərrəciklərin atomları ionlaşdırması hadisəsinə əsaslanır.* Onlardan ikisi ilə tanış olaq.

Heyger sayğacı. *Heyger sayğacı — zərrəcikləri saymaq üçün istifadə olunan qurğudur. Onun iş prinsipi zərbə ilə ionlaşma hadisəsinə əsaslanır.*

Qurğu 10 *kPa* təzyiqində arqon qazı doldurulmuş və hər iki ucu lehimlənən şüşə borudan ibarətdir **(c)**. Boru daxildən metal təbəqə - katodla örtülmüşdür. Borunun oxu boyunca keçirilən nazik məftil isə anoddur. Anodla katod arasında yüksək gərginlik yaradılır. Boruya daxil olan radioaktiv zərrəcik öz yolunda arqon qazının atomlarını ionlaşdırır. Elektrik sahəsinin təsiri ilə elektronlar və ionlar uyğun olaraq anod və katod istiqamətində sürətlənir. Sürətlənən elektronlar öz yollarında qazın neytral atomları ilə toqquşduqda onları ionlaşdırır. Beləliklə, yaranan yeni elektron-ion cütləri əvvəl yaranan uyğun cütlərə qoşularaq elektron-ion seli əmələ gətirir. Nəticədə sayğacdan keçən cərəyan şiddəti kəskin artır. Bu paman yükləyici R rezistorunda gərginlik impulsu yaranır. İmpuls qeydedici qurğuya verilməklə ətraf mühitdə radioaktiv zərrəciyin (adətən, γ kvantının) olduğunu qeyd edir.

Vilson kamerası. *Vilson kamerası - sürətli yüklü zərrəciklərin buraxdığı izləri müşahidə etməyə və ya onun fotoşəklini çəkməyə imkan verən qurğudur. Onun iş prinsipi ifrat doyan buxarın ionlar üzərində kondensasiya etməsi nəticəsində maye damcılarının əmələ gəlməsinə əsaslanır.*

Vilson kamerası - aşağı hissəsi porşenlə təchiz edilən silindrik şüşə qabdır **(d)**. Kamera suyun və ya spirtin doyan buxarı ilə doldurulur. Porşeni aşağı kəskin hərəkətə gətirməklə kameranın həcmi artırılır və buxar adiabat genişlənir. Nəticədə buxar soyuyaraq ifrat doyan hala keçir. Bu, buxarın dayanıqlı olmayan halı olduğundan o, asanlıqla kondensasiya etməyə başlayır. Əgər bu zaman kameraya zərrəcik daxil olarsa, onun işçi həcmdə əmələ gətirdiyi ionlar kondensasiya mərkəzləri olur, nəticədə zərrəciyin yolunda su damcıları əmələ gəlir.



Zərrəciyin belə izləri ***trek*** adlanır. Trekin uzunluğuna görə zərrəciyin kinetik enerjisi, vahid uzunluqdakı damcıların sayma görə isə onun sürəti dəyərləndirilir. Belə ki, trek uzun olduqca zərrəciyin kinetik enerjisi böyük, trekin vahid uzunluğunda yaranan damcıların sayı çox olduqca zərrəciyin sürəti kiçik olur. Böyük yükə malik zərrəciyin treki daha qalın olur. Əgər kamera bircins maqnit sahəsində yerləşdirilərsə, zərrəciyin (əgər o yüklüdürsə) treki əyilir **(e)**. Trekin əyrilik radiusuna görə zərrəciyin xüsusi yükü ($\frac{q}{m}$) təyin edilir.