ELDAR QOCAYEV

ÜMUMİ FİZİKA KURSU

I hissə

DƏRSLİK

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin 4 iyul 2008-ci il tarixli, 855saylı əmri ilə dərslik kimi təsdiq olunmuşdur.

Bakı - SABAH - 2008

Bu kitabı, halal zəhmətləri ilə ömür sürmüş, layiqli övladlar böyütmüş, dünyalarını vaxtsız dəyişmiş əziz qardaşlarım Süleymanın və Heyətin parlaq xatirələrinə həsr edirəm.

ELMİ REDAKTOR: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru
H.ORUCOV

RƏY VERƏNLƏR: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor T.PƏNAHOV

Fizika riyaziyyat elmləri namizədi,
dosent S.ƏLİYEV

E.M. QOCAYEV Ümumi fizika kursu, I hissə, dərslik, Bakı. «SABAH».2008. 440 səh.

İSBN 5-86106-054-1

Ali Texniki Universitetlərin tədris proqramı əsasında yazılmış dərslik həmin universitetlərdə tədris olunan «Ümumi fizika kursu»nun mexanika, molekulyar, elektrik və maqnetizm bölmələrini tam əhatə edir. Dərslikdən Ali Texniki universitetlərin tələbələri əsas, digər universitet tələbələri isə əlavə vəsait kimi istifadə edə bilərlər.

$Q\frac{1604000000}{029-2008}$ Qrifli nəşr.

ÖN SÖZ

Oxuculara təqdim olunan bu dərslik müəllifin 35 ildən çox müddətdə Texniki Universitetlərdə oxuduğu mühazirələr və 1999-cu ildə çap etdirdiyi dərs vəsaiti əsasında yazılmışdır. Dərsliyin son variantının işıq üzü görməsində onun elmi redaktoru, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru Hüseyn Orucovun, fizika-riyaziyyat elmləri namizədi Xatirə Xəlilovanın, dərsliyi oxuyaraq iradlarını bildirən, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof. Tahir Pənahovun və fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dos. Sabir Əliyevin rolunu xüsusi qeyd etmək istərdim. Öz adımdan onlara dərin minnətdarlığımı bildirirəm.

Əməkdar Elm Xadimi,
professor Eldar Qocayev
Azərbaycan Texiki Universiteti
Bakı, 2008-ci il

MÜNDƏRİCAT

ÖN SÖZ..2
I FƏSİL. KİNEMATİKA
1.1. Maddi nöqtə. Hesablama sistemi..9
1.2. Əyrixətli hərəkət..12
1.3. Fırlanma hərəkətinin kinematikası..15
II FƏSİL. DİNAMİKA
2.1. Nyutonun qanunları..18
2.2. İmpuls. İmpulsun saxlanması qanunu..21
2.3. Mexaniki nisbilik prinsipi..25
2.4. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi..26
2.5. Lorens çevirmələri..28
2.6. Relyativistik kinematika..31
2.7. Ağırlıq qüvvəsi və çəki..36
2.8. Sürtünmə qüvvələri..37
2.9. Fırlanma hərəkətinin dinamikası..38
III FƏSİL. İŞ VƏ ENERJİ
3.1. İş..44
3.2. Güc..45
3.3. Enerji. Enerjinin saxlanma qanunu..46
3.4. Kürələrin mərkəzi zərbəsi..52
3.5. Klassik mexanikanın tətbiq olunma hüdudları..55
IV. FƏSİL. MOLEKULYAR FİZİKA VƏ TERMODİNAMİKANIN ƏSASLARI
4.1. İdeal qaz qanunları..58
4.2. Molekulyar kinetik nəzəriyyənin əsas tənliyi..65
4.3. Molekulların sərbəst yolunun uzunluğu və effektiv radiusu..69
4.4. Barometrik düstur. Bolsman paylanması..72
4.5. Maksvell paylanması..75
V. FƏSİL. TERMODİNAMİKANIN FİZİKİ ƏSASLARI
5.1. İstilik tutumu..80
5.2. Sistemin daxili enerjisi, istilik və iş..89
5.3. Termodinamikanın birinci prinsipi..91
5.4. Adiabatik proses üçün Puasson düsturu..95
5.5. Politropik proses..98
5.6. Karno tsikli (dövri proses)..100
5.7. Klapeyron-klaizius tənliyi..104
5.8. Termodinamikanın ikinci qanunu..107

5.9. Nernst teoremi..113
5.10. İdeal qazın entropiyası...114
5.11. Entalpiya..116
5.12. Termodinamik potensiallar..118
VI FƏSİL. REAL QAZLAR
6.1. Molekulyar qüvvələr...119
6.2. Van-der Vaals izotermləri...130
6.3. Real qazın daxili enerjisi. Coul-Tomson effekti......................137 +
VII.FƏSİL. HİDRODİNAMİKA
7.1. Özlü mayenin axması, puazeyl düsturu..................................141
7.2. Mayenin hərəkəti. Bernulli tənliyi..149
VIII FƏSİL. QEYRİ-ƏTALƏT HESABLAMA SİSTEMLƏRİ
8.1. Ətalət qüvvələri..154
8.2. Mərkəzdənqaçma ətalət qüvvəsi...155
8.3. Koriolis qüvvəsi..156
+ 8.4. Ümumdünya cazibə qanunu.. +...158
8.5. Kosmik sürətlər..163
8.6. Kosmik uçuşların təşkili..164
IX FƏSİL. QAZLARDA KÖÇÜRMƏ HADİSƏLƏRİ
9.1.Köçürmə hadisələri..174
9.2. Diffuziya hadisəsi..175 +
+ 9.3. Daxili sürtünmə hadisəsi (özlülük)..177
9.4. Qazların istilikkeçirməsi..180
X FƏSİL. BƏRK CİSİMLƏR VƏ FAZA ÇEVRİLMƏLƏRİ
10.1. Maddənin bərk halı..182
10.2. Bərk cisimlərdə təsir edən molekulyar qüvvələr. Bərk cismin enerjisi........184
10.3. Bərk cismin istilik tutumu..190
10.4. Bərk cisimlərin istidən genişlənməsi.....................................194
10.5. Bərk cisimlərin istilik keçirməsi...197
10.6. Faza keçidləri..199
10.7. Ərimə və bərkimə..200
XI FƏSİL. MAYELƏR
11.1. Mayelərin səthi gərilməsi...202
11.2. Səthə aktiv maddələr. Adsorbsiya...205
11.3. Kapilyarlıq..206
XII FƏSİL. ELEKTROSTATİK SAHƏ VƏ ONUN XARAKTERİSTİKASI
Giriş...209

12.1. Zərrəciklərin vakuumdakı qarşılıqlı təsiri. Kulon qanunu.................211
12.2. Elektrik sahəsi. Elektrik sahəsinin intensivliyi................................215
12.3. Dipolun elektrik sahəsi...222
12.4. Elektrik sahəsinin intensivlik vektoru seli....................................225
12.5. Ostroqradski-Qauss teoremi..227
12.6. Yükün yerdəyişməsi zamanı elektrostatik sahədə görülən iş...............237
12.7. Potensial. Potensial vahidi...239
12.8. Elektrostatik sahə intensivliyi və potensialı arasında əlaqə. Potensial qradienti...243
XIII FƏSİL. DİELEKTRİKLƏR
13.1. Dielektriklərin polyarlaşması. Polyarlaşma vektoru.........................246
13.2. Dielektriklərdə sahə intensivliyi. Dielektrik nüfuzluğu və dielektrik qavrayıcılığı. Elektrik yerdəyişmə vektoru.........................255
13.3. Oriyentasiya (istiqamətlənmə) və deformasiya polyarlaşması qeyri-polyar və polyar dielektriklərin dielektrik nüfuzluğu.................263
13.4. Seqnetoelektrik, pyezoelektrik və elektrostriksiya effektləri, onların tətbiqi..271
XIV FƏSİL. NAQİLLƏR ELEKTRİK SAHƏSİNDƏ
14.1. Naqillərdə yüklərin tarazlığı..279
14.2. Elektrik tutumu...281
14.3. Kondensatorlar..282
14.4. Kondensatorların birləşdirilməsi...285
14.5. Elektrik sahəsinin enerjisi...287
XV FƏSİL. SABİT CƏRƏYAN QANUNLARI
15.1. Elektrik cərəyanı..292
15.2. Om qanunu...295
15.3. Elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ)..298
15.4.Joul-Lens qanunu...299
15.5. Dövrənin budaqlanması. Kirxhof qaydaları...................................300
15.6. Cərəyan mənbəyinin faydalı iş əmsalı...303
XVI FƏSİL. METALLARDA ELEKTRİK CƏRƏYANIN TƏBİƏTİ
16.1. Rikke təcrübəsi..307
16.2. Milliken təcrübəsi..307
16.3. Metallarda yükdaşıyıcıların təbiəti..310
16.4. Metalların klassik elektron nəzəriyyəsi..311
16.5. Zona nəzəriyyəsi..315
16.6. Yarımkeçiricilər...322

XVII FƏSİL. MAYELƏRDƏ VƏ QAZLARDA ELEKTRİK CƏRƏYANI

17.1. Faradey qanunları....................................334
17.2. Elektrolitik keçiricilik....................................335
17.3. Elektrolizin texniki tətbiqləri....................................337
17.4. Qazlarda elektrik cərəyanı....................................339
17.5. Seyrəkləşmiş qazlarda elektrik cərəyanı....................................344
17.6. Plazma....................................347

XVIII FƏSİL. VAKUUMDA ELEKTRİK CƏRƏYANI

18.1. Çıxış işi....................................350
18.2. Termoelektron emissiya hadisəsi....................................351
18.3. Kontakt potensiallar fərqi. Volta qanunu....................................357
18.4. Termoelektrik hadisələri....................................359

XIX FƏSİL. VAKUUMDA MAQNİT SAHƏSİ

19.1. Cərəyanın maqnit sahəsi....................................366
19.2. Maqnit sahəsi....................................369
19.3. Bio-Savar-Laplas qanunu....................................370
19.4. Solenoidin maqnit sahəsi....................................373
19.5. Maqnit seli....................................374
19.6. Maqnit sahəsində mexaniki iş....................................378
19.7. Cərəyanlı kontur maqnit sahəsində....................................379
19.8. Hərəkət edən yükün maqnit sahəsi....................................382
19.9. Lorens qüvvəsi....................................383
19.10. Holl effekti....................................384
19.11. Maqnit sahəsinin sirkulyasiyası....................................386
19.12. Elektronların elektrik və maqnit sahələrində hərəkəti. Elektronun xüsusi yükünün təyini....................................387

XX FƏSİL. MADDƏNİN MAQNİT XASSƏLƏRİ

20.1. Elektronun maqnit və mexaniki momentləri....................................390
20.2. Diamaqnetizmin nəzəriyyəsi....................................392
20.3. Paramaqnetizm....................................395
20.4. Ferromaqnetizm....................................398

XXI FƏSİL. ELEKTROMAQNİT İNDUKSİYA HADİSƏSİ

21.1. Elektromaqnit induksiya hadisəsi....................................403
21.2. Qarşılıqlı induksiya hadisəsi....................................407
21.3. Öz-özünə induksiya hadisəsi....................................410
21.4. Dövrənin açılması və qapanması zamanı yaranan cərəyan....................................412
21.5. Maqnit sahəsinin enerjisi....................................414

XXII FƏSİL. DƏYİŞƏN CƏRƏYAN
22.1. Kvazistasionar cərəyanlar..416
22.2. İnduktivlikdən axan dəyişən cərəyan..417
22.3. Tutumdan keçən dəyişən cərəyan...419
22.4. Tutum, induktivlik və müqavimətdən ibarət dəyişən cərəyan dövrəsi..420
22.5. Dəyişən cərəyan dövrəsində ayrılan güc....................................424
22.6. Cərəyanların rezonansı...426
22.7. Dəyişən cərəyan mühərriki..429
XXIII FƏSİL.DƏYİŞMƏ CƏRƏYANI, MAKSVELL TƏNLİKLƏRİ
23.1. Dəyişmə cərəyanı..431
23.2. Maksvell tənlikləri...435

I FƏSİL

KİNEMATİKA

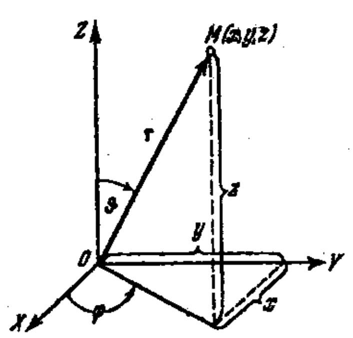
1.1. MADDİ NÖQTƏ. HESABLAMA SİSTEMİ.

Mexanikanın, maddi cisimlərin hərəkətlərini onları doğuran səbəblərsiz öyrənən bölməsinə kinematika deyilir.

Mexaniki hərəkət dedikdə, bir cismin digər cismə və ya cismin bir hissəsinin digər hissəsinə nəzərən yerdəyişməsi başa düşülür. Mexaniki hərəkət cismin ölçülərindən və hərəkətin davam etmə müddətindən asılıdır. Hərəkətin baş verdiyi fəza hissəsinə hərəkətin miqyası deyilir. Radiusu $R = 6400$ *km* olan Yer kürəsi Günəş ətrafında diametri 300000000 *km* olan dairəvi orbit üzrə hərəkət edərkən belə böyük miqyasda Yerdə baş verən hadisələr onun hərəkətinə təsir edə bilmir. Bu halda hərəkət edən Yer kürəsinə hərəkətin miqyasına görə maddi nöqtə kimi baxmaq olar. Ümumiyyətlə isə maddi nöqtə elə cisimlərə deyilir ki, onların ölçüləri hərəkətin miqyasından çox kiçik olsun.

Maddi nöqtə anlayışı nisbi anlayışdır, çünki istənilən cismə hərəkət miqyasından asılı olaraq maddi nöqtə və ya cisim kimi baxa bilərik. Beləliklə, mexanikada hərəkətə maddi nöqtələrin və ya onlardan təşkil edilmiş sistemlərin fəzada zaman-dan asılı olaraq yerdəyişməsi kimi baxılır.

Hərəkət nisbi olduğundan cismin hərəkətini hər hansı digər bir cisim, yaxud cisimlər sisteminə görə öyrənmək lazımdır. Koordinat sisteminin başlanğıcını hesabat cismi olaraq adlandırılan bu cismə bağlayırlar.



Şəkil 1.1

Düzbucaqlı dekart koordinat sistemində maddi nöqtənin vəziyyətinə baxaq (şəkil 1.1).

Bu sistemdə M-nöqtəsinin fəzadakı vəziyyəti x,y,z kimi üç koordinatla müəyyən olunur. Həmin koordinatlar M(x,y,z) nöqtəsinin uyğun olaraq absisi, ordinatı və applikatı adlanır. Bu üç ədəd $\vec{OM} = \vec{r}$ vektorunun uyğun olaraq koordinat oxları üzrə proyeksiyalarıdır. Bununla yanaşı nöqtənin vəziyyətini $\vec{r}$ - vektorunu bilməklə də xarakterizə etmək olar. Riyazi olaraq bu, fəzanın üçölçülü olması deməkdir, yəni baxılan maddi nöqtənin üç sərbəstlik dərəcəsi mövcuddur.

Maddi nöqtə hərəkət etdiyindən onun koordinatları və radius vektoru da zamandan asılı olur.

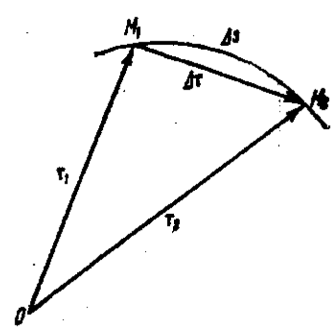
$$\left.\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned}\right\} \tag{1.1}$$

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \tag{1.2}$$

(1.1) və (1.2) eyni hüquqlu tənliklərdir.

Hərəkət edən nöqtənin halını xarakterizə edən koordinatların ardıcıl yerdəyişmələrinin toplusu fəzada müəyyən xətt əmələ gətirir. Həmin xətt nöqtənin hərəkət trayektoriyası adlanır.

Şəkil 2-də trayektoriyanın müəyyən parçası (M_1M_2 qövsü) verilmişdir. Maddi nöqtə $\Delta t = t_2 - t_1$ müddəti ərzində $\vec{OM}_1 = \vec{r}_1$ vəziyyətindən $\vec{OM}_2 = \vec{r}_2$ vəziy-yətinə gəlmiş olur. O həmin müddət ərzində $M_1M_2 = \Delta S$ məsafəsini qət edir. $\vec{M_1M_2} = \Delta\vec{r}$ vektoru Δt müd-dətində yerdəyişmə vektoru adlanır. Hərəkət düzxətli olduqda $|\Delta\vec{r}|$ ilə ΔS üst-üstə düşür.



Şəkil 1.2.

Trayektoriya və yerdəyişmə hərəkətin yalnız həndəsi xarakteristikalarıdır. Əyrixətli hərəkətdə müxtəlif zaman müddətində iki eyni $\Delta\vec{r}$

yerdəyişməsi baş verirsə, bu həndəsi olaraq eyni, kinematik olaraq isə tamamilə müxtəlif anlayışlar hesab edilir. Hərəkət bərabərsürətli deyil, ixtiyari olduqda onu orta sürətlə xarakterizə edirlər:

$$\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\vec{\vartheta}_{or} \qquad (1.3)$$

Burada $\vec{\vartheta}_{or}$ nöqtənin Δt müddətində hərəkət sürətinin orta qiymətidir. Trayektoriyanın hər hansı M_1 nöqtəsində sürətin ani qiyməti

$$\vec{\vartheta}=\lim_{M_2\to M_1}\vec{\vartheta}_{or}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\frac{d\vec{r}}{dt} \qquad (1.4)$$

olur. Bu halda vətərlə qövsün uzunluqları üst-üstə düşdüyündən, sürətin istiqaməti əyriyə çəkilən toxunan istiqamətində olur.

$$|\vec{\vartheta}|=\vartheta=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta S}{\Delta t}=\frac{dS}{dt} \qquad (1.5)$$

Yəni hərəkətin sürəti modulca gedilən yolun zamana görə birinci tərtib törəməsidir. Mexaniki hərəkətin daha bir xarakteristikası olan təcil, vahid zamanda sürət dəyişməsilə xarakterizə olunur.

$$\vec{a}=\frac{\vec{\vartheta}_t-\vec{\vartheta}_0}{t} \qquad (1.6)$$

Burada $\vec{\vartheta}_0$ və $\vec{\vartheta}_t$ uyğun olaraq hərəkətin başlanğıc və son sürətləridir.

Bərabərdəyişən hərəkətdə təcil sabit kəmiyyət olub, sürətin dəyişməsi istiqamətində yönəlir. Bərabərdəyişən hərəkətdə orta sürətin qiyməti

$$\vartheta_{or}=\frac{\vartheta_0+\vartheta_t}{2}, \quad \vartheta_{or}=\frac{S}{t}$$

olduğundan gedilən yol

$$S=\vartheta_{or}\cdot t=\frac{\vartheta_0+\vartheta_t}{2}\cdot t,$$

$$S=\vartheta_0 t+\frac{at^2}{2} \qquad (1.7)$$

kimi hesablanır. Bərabəryavaşıyan hərəkətdə təcil sabit mənfi kəmiyyət olur. Δt müddətində sürət dəyişməsi $\Delta\vartheta$ olduqda təcil

$$\vec{a}_{or} = \frac{\Delta\vec{\vartheta}}{\Delta t}$$

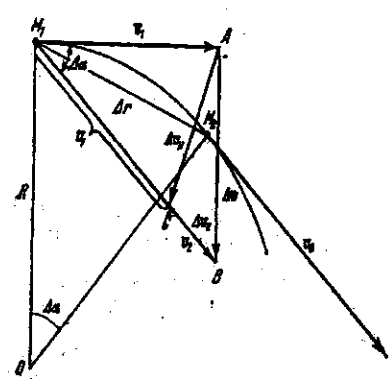
ani təcil isə

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{a}_{or} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\vartheta}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\vartheta}}{dt} \qquad (1.8)$$

olur, yəni təcil sürətin zamana görə birinci tərtib törəməsidir.

1.2. ƏYRİXƏTLİ HƏRƏKƏT

Əyrixətli dəyişən sürətli hərəkət zamanı sürət həm qiymət, həm də istiqamətcə dəyişir. Ona görə də əyrixətli hərəkətdə təcili tapmaq üçün sürətin həm qiymət, həm də istiqamətcə dəyişməsi nəzərə alınmalıdır. Tutaq ki, cisim R - radiuslu çevrə boyunca hərəkət edir (şəkil 1.3). Hərəkətin başlanğıcında həmin cisim M_1 nöqtəsində olmuş və onun sürəti bu nöqtədə əyriyə toxunan istiqamətdə yönəlir ($\vec{\vartheta}_1$). Δt müddətindən sonra cisim (maddi nöqtə) M_2 nöqtəsinə çatır və onun sürəti bu nöqtədə yenə əyriyə toxunan istiqamətdə yönəlir ($\vec{\vartheta}_2$). Deməli, biz M_1 və M_2 nöqtələrində əyriyə çəkilən sürət vektorlarının fərqini tapsaq, bu bizə axtardığımız sürətin dəyişməsini verər.. Bunun üçün M_2 nöqtəsində əyriyə çəkilmiş sürət vektorunu özünə paralel olaraq başlanğıcı $\vec{\vartheta}_1$-in başlanğıcı üzərinə düşməklə M_1 nöqtəsinə köçürək. A



Şəkil 1.3.

nöqtəsindən M_1B vektoruna AC normalı çəkək. Bu zaman biz iki bərabəryanlı üçbucaq alarıq. Bu üçbucaqların oxşarlığından

$$\Delta M_1AC \sim \Delta OM_1M_2$$

$$\frac{\Delta\vartheta_n}{\vartheta} = \frac{AC}{R}$$

$$\Delta\vartheta_n = \frac{\vartheta}{R}AC$$

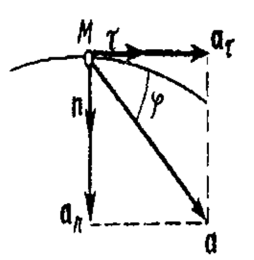
Sonuncu bərabərliyin hər tərəfini Δt -yə bölüb, limitə keçsək:

$$a_n = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vartheta_n}{\Delta t} = \frac{\vartheta}{R}\cdot\lim_{\Delta t\to 0}\frac{AC}{\Delta t} = \frac{\vartheta}{R}\cdot\vartheta = \frac{\vartheta^2}{R}$$

olmasını tapırıq.

$$\vec{a}_n = \frac{\vartheta^2}{R}\,\vec{n} \qquad (1.9)$$

burada $\vec{n}$ çevrənin mərkəzinə doğru yönəlmiş vahid vektordur. Əgər hərəkət zamanı sürətin təkcə istiqaməti deyil, həm də qiyməti dəyişərsə, bu dəyişməni də nəzərə alsaq, ümumi sürət dəyişməsi $\Delta\vec{\vartheta} = \Delta\vec{\vartheta}_\tau + \Delta\vec{\vartheta}_n$ kimi təyin olunmalıdır. Burada $\Delta\vec{\vartheta}_\tau$ və $\Delta\vec{\vartheta}_n$ müvafiq olaraq sürətin qiymət və istiqamətcə dəyişmələrini xarakterizə edir. Əyrixətli hərəkətin tangensial təcili aşağıdakı kimi təyin edilir



Şəkil 1.4

$$a_\tau = \frac{d\vartheta}{dt}, \qquad \vec{a}_\tau = \frac{d\vartheta}{dt}\vec{\tau}$$

Beləliklə, dəyişən sürətli əyrixətli hərəkətdə təcil iki toplanandan, sürətin qiymətcə dəyişməsi hesabına yaranan toxunan (tangensial) təcildən və sürətin istiqamətcə dəyişməsi hesabına yaranan normal təcildən ibarətdir (şəkil 1.4).

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau = \frac{\vartheta^2}{R}\,\vec{n} + \frac{d\vartheta}{dt}\vec{\tau}$$

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{\vartheta^2}{R}\right)^2 + \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2} \qquad (1.10)$$

Bərabərsürətli əyrixətli hərəkətdə $\vec{a}_\tau = 0, \vec{a} = \vec{a}_n$ dəyişən sürətli düzxətli hərəkətdə isə $\vec{a}_n = 0$, $\vec{a} = \vec{a}_\tau$ olur.

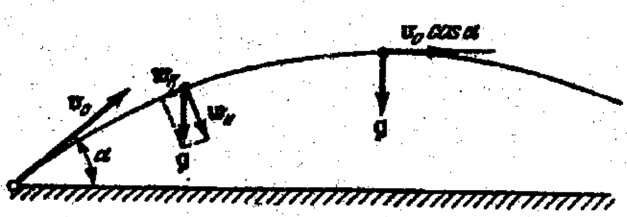
Sonda üfüqə nəzərən α-bucağı altında atılmış bərk cismin hərəkətinə baxaq (şək 1.5.). Yerin cəzbetmə təcili həm qiymət, həm də istiqamətcə sabit olub, şaquli yönəlir. Ona görə də hərəkət zamanı cismin tam təcili sabit qalır.

$$\vec{a} = \vec{g} = const$$

Şəkil 1.5-dən göründüyü kimi trayektoriyanın hər bir nöqtəsində bu təcilin normal və tangensial toplananları müxtəlifdir. Lakin ən yüksək nöqtədə trayektoriya üfüqi olub, $\vec{a}$-vektoruna perpendikulyardır. Ona görə də bu nöqtədə yalnız normal təcil olur $a_n = g$, onda şəkildən

$$g = \frac{(\vartheta_0 \cos\alpha)^2}{R}$$

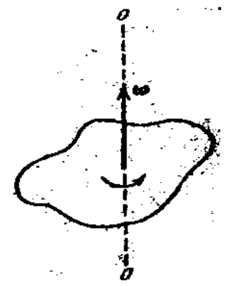
olması tapılır. Bu ifadənin köməyilə trayektoriyanın təpəsində R-əyrilik radiusunu hesablamaq olar.



Şəkil 1.5

1.3. FIRLANMA HƏRƏKƏTİNİN KİNEMATİKASI

Müəyyən OO' oxu ətrafında fırlanan mütləq bərk cismin bütün nöqtələri hər hansı Δt müddətində öz vəziyyətlərini eyni $\Delta\varphi$ qədər dəyişmiş olur. Ona görə bu cür hərəkəti radius-vektorun vahid zamanda cızdığı bucaqla xarakterizə etmək olar.



Şəkil 1.6.

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \qquad (1.11)$$

$\vec{\omega}$-nın istiqaməti, fırlanma sağ burğu istiqamətində olduqda fırlanan bərk cismin oxu boyunja yönəlir (şəkil 1.6).

Bu kəmiyyət cismin bucaq sürəti adlanır. Fırlanma bərabərsürətli olduqda $\omega = \frac{\varphi}{t}$ kimi təyin edilir.

Əgər $\Delta t = T$ isə, yəni cisim bir tam dövr etdikdə, onda $\Delta\varphi = 2\pi$ olduğundan

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega},$$

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \omega = 2\pi\nu$$

alınır. ν – vahid zamandakı dövrlər sayıdır. Bucaq sürətinin dəyişən olduğu halda onun vahid zamanda dəyişməsilə xarakterizə edilən bucaq təcilindən istifadə edilir:

$$\vec{\beta} = lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \qquad (1.12)$$

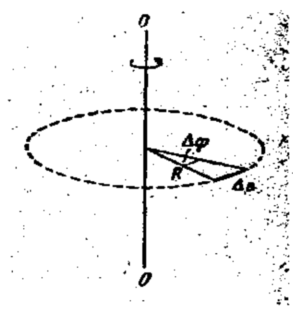
Fırlanma oxu sabit qaldıqda bucaq sürəti yalnız modulca dəyişdiyindən bucaq təcili

$$\beta = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta\omega|}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

kimi təyin edilir. Yeyinləşən hərəkət üçün $\vec{\beta} \uparrow\uparrow \vec{\omega}$, yavaşıyan hərəkət üçün

$\vec{\beta} \downarrow\uparrow \vec{\omega}$ olur.

Bucaq sürəti vektorunun, xətti sürət və qüvvə vektorlarından fərqli olaraq müəyyən tətbiq olunma nöqtəsi yoxdur və o, fırlanma oxunun istənilən nöqtəsində ola bilər. ϑ sürətinin qiyməti cismin fırlanma sürətindən (ω) və baxılan nöqtənin fırlanma oxundan məsafəsindən (R) asılı olur.



Şəkil 1.7.

Bucaq sürətinin vahidi rad/s-dir. Texnikada isə dövr/dəq götürülür

$$1\frac{\text{dövr}}{\text{dəq}} = 2\pi\frac{1}{60}\cdot\frac{rad}{s} = \frac{\pi}{30}\cdot\frac{rad}{s}$$

Bucaq sürətilə xətti sürət arasındakı əlaqəni tapaq. Tutaq ki, cisim Δt müddətində öz vəziyyətini kiçik $\Delta\varphi$ bucağı qədər dəyişmişdir (şəkil 1.7). Onda o,

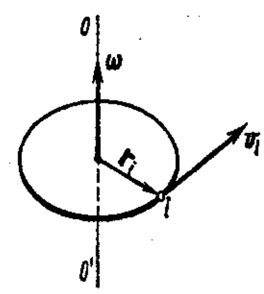
$$\Delta S = R\cdot\Delta\varphi$$

məsafəsi qət etmiş olur. Buradan:

$$\vartheta = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{R\Delta\varphi}{\Delta t} = R\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R\frac{d\varphi}{dt} = R\omega$$

və ya

$$\vartheta = \omega\cdot R$$



Şəkil 1.8.

Bucaq sürəti fırlanma oxu üzərə yönələn vektordur. Onun istiqaməti sağ burğu qaydası ilə müəyyən olunur (şəkil 1.8). Burğunun dəstəyi fırlanma hərəkəti istiqamətində hərəkət edərsə onun irəliləmə istiqaməti bucaq sürətinin istiqamətini ifadə edir. Bunları nəzərə alaraq bucaq sürəti ilə xətti sürət arasındakı vektorial asılılıq aşağıdakı şəkildə olur:

$$\vec{\vartheta} = [\vec{\omega} \cdot \vec{R}] \qquad (1.13)$$

Normal təcil isə

$$a_n = \frac{\vartheta^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R$$

kimi təyin edilir. Tangensial təcil

$$a_t = \left|\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t}\right| = \left|\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta(\omega \cdot R)}{\Delta t}\right| = \left|\lim_{\Delta t \to 0} R\frac{\Delta \omega}{\Delta t}\right| = R \cdot \left|\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t}\right| = R \cdot \beta \qquad (1.14)$$

olur.

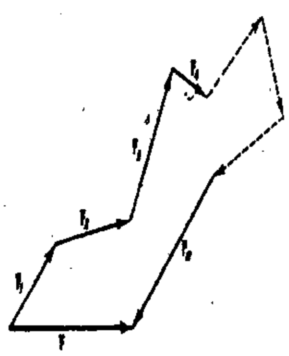
II FƏSİL

DİNAMİKA

2.1. NYUTONUN QANUNLARI

Mexanikanın, mexaniki hərəkətləri onları doğuran səbəblərlə birgə öyrənən bölməsinə dinamika deyilir. Klassik və ya Nyuton mexanikasının əsasını Nyuton qanunları təşkil edir.

Nyutonun I qanununa görə cismə kənardan heç bir qüvvə təsir etmədikdə, yaxud təsir edən qüvvələrin yekun vektoru sıfıra bərabər olduqda o, sükunətdədirsə sükunət, hərəkətdədirsə düzxətli bərabərsürətli hərəkət halını saxlayır. Başqa sözlə, cisim digər cisimlərin təsirinə məruz qalmadıqda öz sürətini sabit saxlayır.



Şəkil 2.1

Nyutonun I qanunu ödənilən sistemə ətalət sistemi deyilir. Kənar qüvvələr olmadıqda cisimlərin düzxətli bərabərsürətli hərəkəti ətalət üzrə hərəkət adlanır.

Cismin halının istənilən dəyişməsi ona digər cisimlərin təsiri ilə baş verir. Eyni zamanda cisim bir neçə qüvvənin təsirinə məruz qalırsa, cismə təsir edən qüvvə dedikdə qüvvələrin əvəzləyicisi (şəkil 2.1) başa düşülməlidir:

$$\overline{F} = \overline{F}_1 + \overline{F}_2 + ... + \overline{F}_n = \sum_{i=1}^{n} \overline{F}_i \qquad (2.1)$$

burada n – təsir edən qüvvələrin sayıdır.

Eyni bir qüvvənin təsiri ilə müxtəlif kütlələrin aldıqları təcillər, başqa sözlə, ətalət üzrə hərəkətlərinin dəyişməsi fərqli olur. Yəni kütləsi müxtəlif olan cisimlərin ətaləti də müxtəlif olur. Cismin ətalətliliyini xarakterizə edən kəmiyyətə kütlə deyilir. Sonralar görəcəyimiz kimi, kütlə həmçinin sistemin tam ehtiyat enerjisini də xarakterizə edir. Kütlə additiv kəmiyyətdir, yəni verilmiş cismin kütləsi onun ayrı-ayrı hissələrinin kütlələri cəminə bərabərdir. Klassik mexanikada cismin kütləsi sabit kəmiyyət olub, onun sürətindən asılı deyildir və bütün ətalət sistemlərində eynidir. BS-də kütlə vahidi olaraq 1 kq götürülür. Maddi nöqtənin kütləsinin onun sürətinə hasilinə impuls deyilir. İmpuls vektor kəmiyyət olub, sürət vektoru boyunca yönəlir.

$$\vec{P} = m\vec{\vartheta}$$

BS-də impulsun vahidi kqm/s-dir.

Məlum olduğu kimi, maddi-nöqtəvi cisim dedikdə hərəkət zamanı kütləsindən başqa bütün xassələri nəzərə alınmayan cisim nəzərdə tutulur. Yəni hər bir maddi nöqtə müəyyən m kütləsilə xarakterizə edilir.

Nyuton Qalileyin ağır cisimlərin düşməsinə aid təcrübələrinin nəticələrinə, Keplerin planetlərin hərəkəti barədə astronomiya qanunlarının nəticələrinə və eləcə də özünün tədqiqatlarına əsaslanaraq dinamikanın ikinci əsas qanununu aşağıdakı kimi ifadə etmişdir:

1. Müəyyən kütlənin hərəkət təcili ona təsir edən qüvvə ilə düz mütənasibdir:

$$\vec{a} \sim \vec{F}$$

2. Müəyyən qüvvənin təsiri ilə cismin aldığı təcil onun kütləsi ilə tərs mütənasib olur, yəni

$$\vec{a} \sim \frac{1}{m} \quad \vec{F} = const$$

Beləliklə, cismin hərəkət təcili ona təsir edən qüvvə ilə düz, cismin kütləsi ilə tərs mütənasib olur:

$$\vec{a} \sim \frac{F}{m}$$

Mütənasiblik əmsalı daxil etdikdə

$$\vec{F} = km\vec{a}$$

sağ və sol tərəfdəki kəmiyyətlər eyni bir vahidlər sistemində ölçülərsə $k = 1$ olur və

$$\vec{F} = m\vec{a} \tag{2.2}$$

alınır. Yəni maddi nöqtəyə təsir edən qüvvə vektoru kütlə ilə təcilin hasilinə bərabərdir. BS-də $a = 1 m/s^2$, m=1kq olduğundan

$$F = 1\ kqm/s^2 = 1N = 10^5\ dn$$
$$1\ kQ = 9{,}81N = 9{,}81 \cdot 10^5\ dn,$$
$$1\ N = 0{,}102\ kQ$$

I texniki kütlə vahidi (t.k.v.) $= 1\frac{\kappa Q \cdot s^2}{m} = 9{,}81\kappa q$

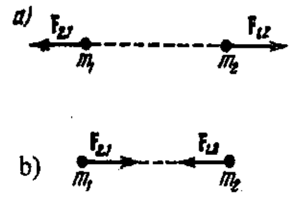
1 kq=0,102 t.k.v.

Nyutonun üçüncü qanununa görə qarşılıqlı təsirdə olan iki cisim bir-birinə qiymətcə bərabər və istiqamətcə əks olan qüvvələrlə təsir edir (şəkil 2.2).

$$\vec{F}_{2.1} = -\vec{F}_{1.2} \qquad (2.3)$$

Lakin bu qüvvələr müxtəlif cisimlərə tətbiq olunduğundan bir-birlərini tarazlaşdıra bilmirlər.

$\vec{F}_{1\,2}$ və $\vec{F}_{2\,1}$ qüvvələri həmişə m_1 və m_2 nöqtələrindən keçən düz xətt boyunca təsir edirlər. 2.2 a. şəklində nöqtələr arasındakı qüvvələrin dəfetmə, 2.2 b. şəklində isə cəzbetmə hallarını ifadə edir. Qarşılıqlı təsirdə olan nöqtələrin sayı çox olduqda Nyutonun III qanununa görə qarşılıqlı təsir istənilən iki nöqtənin təsirinə gətirilir. Bu o deməkdir ki, sistemin ixtiyari m_3 maddi nöqtəsinə təsir edən qüvvələrin cəmi



Şəkil 2.2

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{1\,3} + \vec{F}_{2\,3} + \vec{F}_{4\,3} + \ldots \qquad (2.4)$$

kimi təyin olunmalıdır.

Bu halda, məsələn, $\vec{F}_{1\,3}$ qüvvəsi yalnız m_3 və m_1 nöqtələrinin vəziyyətindən aısl olub, digər nöqtələrdən asılı olmur. Adətən bu qanunu qısaca təsirin əks təsirə bərabər olması kimi ifadə edirlər. Lakin, artıq qeyd olunduğu kimi müxətlif cisimlərə tətbiq olunan bu qüvvələr bir-birini tarazlaşdıra bilmir. Bu mənada Yer üzərində hərəkət edən adam Yerə hansı qüvvə ilə təsir edirsə, Yer də ona əks istiqaəmtdə eyni qüvvə ilə təsir edir. Bu qüvvələrin bərabərliyini, Nyutonun II qanununu nəzərə alsaq və Yerin kütləsinin (M_y) adamın kütləsindən (m_a) müqayisə olunmayacaq dərəcədə böyük olmasını nəzərə alsaq, $a_a >> a_y$ olduğundan Yeri adama nəzərən hərəkətsiz qəbul etmək olar.

2.2. İMPULS. İMPULSUN SAXLANMASI QANUNU.

Nyutonun II qanununun

$$m\frac{d\vec{\vartheta}}{dt} = \vec{f} \qquad (2.5)$$

şəklini dəyişək və klassik mexanikada kütlənin sabit olmasını nəzərə alsaq, həmin ifadəni

$$\frac{d(m\vec{\vartheta})}{dt} = \vec{f} \qquad (2.6)$$

şəklində yazmaq olar.

$$\vec{P} = m\vec{\vartheta}$$

vektorial kəmiyyəti maddi nöqtənin impulsu adlanır. Sonuncu ifadəni nəzərə alsaq Nyutonun II qanununu

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{f} \qquad (2.7)$$

şəklində yazmaq olar. Bu qanunu aşağıdakı şəkildə ifadə etmək olar : maddi nöqtənin impulsunun zamana görə I tərtib törəməsi, həmin nöqtəyə təsir edən bütün qüvvələrin cəminə bərabər olur. Qeyd edək ki, (2.7) tənliyi (2.5) tənliyinə nisbətən daha geniş oblastda ödənilir. Nisbilik nəzəriyyəsinə görə cismin kütləsi sürətindən asılı olaraq dəyişir. Amma bu dəyişmə işığın boşluqda yayılma sürətindən çox kiçik sürətlərdə çox cüzi olur və onu nəzərə almamaq olar. Lakin böyük sürətlərdə kütlə sürətlə artdığından (2.5) düsturu mahiyyətini itirir. (2.7) düsturu isə bu halda da öz əhəmiyyətini itirmir. (2.7) düsturunun şəklini dəyişək

$$d\vec{P} = \vec{f}dt \qquad (2.8)$$

olmasını alırıq. Bu ifadəni inteqrallasaq, zaman fasiləsinin t_1 anından t_2 anınadək dəyişdiyi halda impulsun dəyişməsini alarıq

$$\vec{P}_2-\vec{P}_1=\int_{t_1}^{t_2}d\vec{P}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{f}dt \qquad (2.9)$$

Burada $\vec{f}=const$ olduqda, müəyyən t müddətində impuls dəyişməsi

$$\vec{P}_2-\vec{P}_1=\vec{f}t \qquad (2.10)$$

olur.(2.7) münasibətinə əsasən impulsun zamana görə dəyişməsini bilərək cismə təsir edən qüvvəni müəyyən etmək olur.

Kütlələri $m_1, m_2,...m_N$, sürətləri $\vec{\vartheta}_1,\vec{\vartheta}_2,...,\vec{\vartheta}_N$, impulsları isə $\vec{P}_1=m_1\vec{\vartheta}_1, \vec{P}_2=m_2\vec{\vartheta}_2,...\vec{P}_N=m_N\vec{\vartheta}_N$ olan N sayda maddi nöqtədən təşkil olunmuş sistemə baxaq. Bu sistemi təşkil edən cisimlər həm bir-birlərilə, həm də sistemi əhatə edən digər cisimlərlə qarşılıqlı təsirdə ola bilər. Bu halda sistem daxilindəki cismə həm daxili, həm də xarici qüvvələr təsir edəcəkdir. Daxili qüvvələr dedikdə sistem daxilindəki cisimlər arasında meydana çıxan qüvvələr, xarici qüvvələr isə cisimlərə sistemdən kənar cisimlər tərəfindən təsir edən qüvvələr nəzərdə tutulur.Xarici qüvvələrin təsiri mövcud olmayan sistem qapalı sistem adlanır.

Sistemin impulsu dedikdə həmin sistemi təşkil edən cisimlərin impulsları cəmi nəzərdə tutulur.

$$\vec{P}=\vec{P}_1+\vec{P}_2+...+\vec{P}_n=\sum_{i=1}^{n}\vec{P}_i$$

Sistemin ətalət mərkəzini mühitdə vəziyyəti $\vec{r}_c$ vektoru ilə təyin olunan nöqtə adlandıraq.

$$\vec{r}_c=\frac{m_1\vec{r}_1+m_2\vec{r}_2+...+m_n\vec{r}_n}{m_1+m_2+...+m_n}=\frac{\sum m_i\vec{r}_i}{\sum m_i}=\frac{\sum m_i\vec{r}_i}{m} \qquad (2.11)$$

Burada m_i i-ci cismin kütləsi, $\vec{r}_i$-bu cismin mühitdəki vəziyyətini təyin edən radius-vektor, m -sistemin kütləsidir.

Ətalət mərkəzinin Dekart koordinat sistemində $\vec{r}_c$-nin koordinat oxları üzrə proyeksiyaları

$$x_c=\frac{\sum m_i x_i}{m};\quad y_c=\frac{\sum m_i y_i}{m};\quad z_c=\frac{\sum m_i z_i}{m} \qquad (2.12)$$

kimi təyin edilir. Qeyd edək ki, ətalət mərkəzi, sistemin ağırlıq mərkəzi üzərinə düşür.

Ətalət mərkəzinin sürəti

$$\vec{\vartheta}_c = \dot{\vec{r}}_c = \frac{\sum m_i \dot{\vec{r}}_c}{m} = \frac{\sum m_i \vec{\vartheta}_i}{m}$$

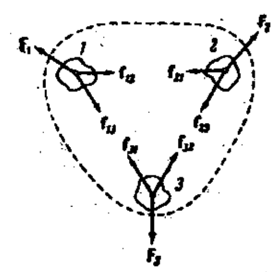
kimi, impulsu isə $\vec{P}_C = m\vec{\vartheta}_C$ kimi təyin edilir.

Burada $\vec{P}_i = m_i\vec{\vartheta}_i$ və $\vec{P} = \sum \vec{P}_i = m\vec{\vartheta}_c$ olduğundan sistemin impulsu

$$\vec{P} = m\,\vec{\vartheta}_c \tag{2.13}$$

kimi təyin edilir. Beləliklə, sistemin impulsu onun kütləsinin ətalət mərkəzinin sürətinin hasilinə bərabər olur.

Tutaq ki, sistem üç cisimdən ibarətdir (şəkil 2.3). 1-cisminə 2 cismi tərəfindən təsir edən hər bir daxili $\vec{f}_{1,2}$ qüvvəsinə, 1-cismi tərəfindən 2-ə təsir edən $\vec{f}_{2,1}$ qüvvəsi uyğun gəlir və bu qüvvələr üçün $\vec{f}_{1\,2} = -\vec{f}_{2\,1}$ şərti ödənilir. $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ və $\vec{F}_3$-lə xarici cisimlər tərəfindən 1-ci, 2-ci və 3-cü cisimlərə təsir edən qüvvələrin toplusu ifadə olunur. Hər üç cisim üçün (2.7) tənliyini yazaq



Şəkil 2.3

$$\frac{d}{dt}\vec{P}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} + \vec{F}_1$$

$$\frac{d}{dt}\vec{P}_2 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_2$$

$$\frac{d}{dt}\vec{P}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} + \vec{F}_3$$

Bu tənlikləri toplasaq və daxili qüvvələrin cəminin sıfır olmasını nəzərə alsaq.

$$\frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3) = \frac{d}{dt}\vec{P} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \tag{2.14}$$

olmasını taparıq. Xarici qüvvələr olmadıqda

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0$$

alınır. Yəni qapalı sistemin impulsu sabit olur. Belə sistemin ağırlıq mərkəzi bərabərsürətli hərəkət edir. Alınmış nəticələri N - sayda cisimdən təşkil olunan sistemə də aid etmək olar.

$$\frac{d}{dt}\vec{P}_i = \sum_{k \neq i} \vec{F}_{ik} + \vec{F}_i \quad (i = 1,2...N) \qquad (2.15)$$

(2.15) tənliyi bir-birindən yalnız i - indeksilə fərqlənən N - sayda tənlikdən ibarət sistemdir. Bu tənliklərdən hər birində toplama k - indeksinə görə aparılır və i-ci tənlikdə k, i-müstəsna olmaqla 1-dən N -ə qədər bütün qiymətləri alır. Bu tənliyi $\vec{F}_{ik} = -\vec{F}_{ki}$ şərti əsasında toplasaq

$$\frac{d}{dt}\vec{P} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \qquad (2.16)$$

olmasını alırıq.Bu isə o deməkdir ki, sistemin impuls vektorunun zamana görə I tərtib törəməsi bu sistemə xarici cisimlər tərəfindən təsir edən bütün qüvvələrin vektorial cəminə bərabər olur. Yəni qapalı sistemin maddi nöqtələrinin impulsu sabit qalır. Bu sistemə təsir edən xarici qüvvələrin təsirlərinin cəminin sıfra bərabər olduğu hala da aiddir. Hətta xarici qüvvələrin cəminin sıfır olması belə, bu cəmin müəyyən istiqamətdə proyeksiyası sıfırdırsa, onda impulsun həmin istiqamətdəki proyeksiyası sabit olur. Həqiqətən də (2.16)-a görə

$$\left(\frac{d}{dt}\vec{P}\right)_{prx} = \frac{d}{dt}\vec{P}_x$$

olduğundan

$$\frac{d}{dt}\vec{P}_x = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_{xi} \qquad (2.17)$$

alınır.

Beləliklə (2.13)-ə əsasən impulsun saxlanma qanuna görə, cisimlərin qapalı sisteminin ətalət mərkəzləri ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət edir, ya da hərəkətsiz qalır.

Məsələn, raketin hərəkəti onun arxasında yanmış qazın böyük sürətlə çıxması nəticəsində raketə verilən impulsun nəticəsidir.

2.3. MEXANİKİ NİSBİLİK PRİNSİPİ

Bir-birinə nəzərən ϑ_0 sürətilə hərəkət edən K və K′ koordinat sisteminə baxaq və fərz edək ki, K - koordinat sistemi sükunətdədir, K′ isə buna nəzərən ϑ_0 sabit sürətilə hərəkət edir. K və K′ koordinat sistemlərində x, y, z və x′, y′, z′ koordinat oxlarını elə seçək ki, x və x′ üst-üstə düşsün, y və y′, z və z′ isə bir-birinə paralel olsun (şəkil 2.4). Hər hansı P nöqtəsi üçün qeyd olunan sistemlərin uyğun koordinatları arasında əlaqəni tapaq. Zamanı koordinat başlanğıclarının üst-üstə düşdüyü andan hesabladıqda və hərəkətin x oxu boyunca baş verdiyini nəzərə alsaq

$$\left.\begin{aligned} x &= x' + \vartheta_0 t' \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t' \end{aligned}\right\} \qquad (2.18)$$

münasibətləri alınır. Bu, Qaliley çevrilmələri adlanır.

Birinci və sonuncu münasibətlər yalnız $v_0 << c$ olduqda doğrudur. Burada c – işığın boşluqda yayılma sürətidir. (2.18) münasibətini diferensiallasaq uyğun olaraq aşağıdakıları alırıq.

$$\begin{aligned} v_x &= v'_x + v_0 \\ v_y &= v'_y \\ v_z &= v'_z \end{aligned} \qquad (2.19)$$

Bu münasibətlər vektor şəklində

$$\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}' + \vec{\vartheta}_0 \qquad (2.20)$$

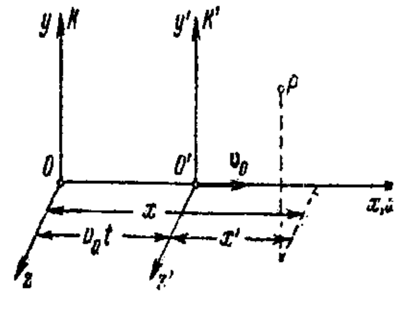
kimi yazılır.

Bu ifadə klassik mexanikada sürətlərin toplanma qanunu olub, K və K′ koordinat sistemlərinin seçilməsindən asılı deyildir.

Lakin bundan fərqli olaraq (2.19) münasibətləri yalnız koordinat oxları şəkil 2.4-də göstərilən kimi istiqamətəndikləri halda doğrudur.

$\vec{\vartheta}_0$ sabit olduğundan K və K′ koordinat sistemlərindəki təcillər arasındakı münasibət aşağıdakı kimi olur:

$$\vec{a} = \vec{a}' \quad (2.21)$$



Şəkil 2.4

Maddi nöqtə digər cisimlərin təsirinə məruz qalmadıqda $\vec{a} = 0$ olur. Yəni izolə edilmiş sistemdə maddi cisimlər sükunətdə və yaxud düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olur.

Alınmış nəticələr Qaliley tərəfindən aşağıdakı kimi ümumiləşdirildmişdir.

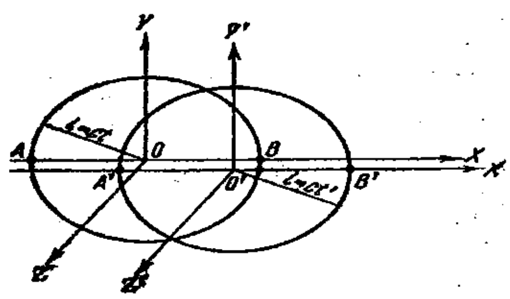
a) müxtəlif ətalət sistemlərində bütün mexaniki hadisələr eyni qanunauyğunluqla baş verir;

b) heç bir mexaniki təcrübə ilə sistemin sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olmasını bir-birindən fərqləndirmək olmaz.

Bu nəticə Qalileyin mexaniki nisbilik prinsipi adlanır.

2.4. XÜSUSİ NİSBİLİK NƏZƏRİYYƏSİ

Fərz edək ki, (şəkil 2.5) bizə koordinat başlanğıcları uyğun olaraq O və O' olan iki K və K' ətalət sistemi verilmişdir. K' sistemi K - ya nəzərən x-oxunun müsbət istiqaməti boyunca ϑ - sürətilə hərəkət edə bilir. O nöqəsindən eyni məsafədə x-



Şəkil 2.5

oxu üzərində A və B nöqtələri, O'-dən yenə də həmin məsafədə $(OA = OB = O'A' = O'B' = \ell)$ A' və B' nöqtələri verilmişdir. Koordinat mərkəzləri üst-üstə düşdüyü halda orada işıq mənbəyi mövcuddur. K' sistemi K-ya nəzərən hərəkətə başladığı anda işıq yandırılır və onun A, B, A' və B' nöqtələrinə hansı ardıcıllıqla çatması əvvəlcə sükunətdəki K, sonra isə hərəkətdə olan K' sistemlərindən müşahidə edilmişdir. Müşahidə K-sistemindən aparıldıqda işıq siqnalının A və B nöqtələrinə eyni zamanda, A'-ə ən tez, B'-ə isə ən kec çatması aşkar edilir. Çünki işıq sükunətdə və O nöqtəsindən eyni məsafədə olan A və B nöqtələrinə təbii olaraq eyni anda çatdığı halda, A' nöqtəsi K-dakı müşahidəçiyə ϑ sürətilə yaxınlaşdığından işıq bu nöqtəyə ən tez, B' -isə həmin sürətlə müşahidəçidən uzaqlaşdığından ona ən gec çatır. Müşahidə ϑ – sürətilə hərəkət edən K' sistemindən aparıldıqda işığın A' və B' nöqtələrinə eyni anda, B -yə ən tez, A -ya isə ən gec çatması aşkar edilir. İşığın B nöqtəsinə ən tez çatması, müşahidəçinin ϑ sürətilə ona yaxınlaşması, A -nöqtəsinə ən gec çatması isə həmin sürətlə müşahidəçinin ondan uzaqlaşmasının nəticəsidir. Göründüyü kimi, əslində işığın bütün dörd nöqtəyə eyni zamanda çatmasına baxmayaraq, müşahidənin sükunətdəki K və hərəkət edən K' sistemlərindən aparılması zamanı müxtəlif nəticələr alınır. Bu müxtəlif sistemlərdə zamanın keçməsinin müxtəlifliyilə əlaqədardır. İlk baxışda anlaşılmaz görünən bu xüsusiyyət Qaliley çevrilmələri ilə aydınlaşdırıla bilmir. Beləliklə, xüsusi nisbilik prinsipində zaman və məkanın düzgün dərk olunmasında həlledici addım atılmışdır. Mühitdə baş verən hadisələrin və cisimlərin ölçülərinin onların hərəkət sürətlərindən asılılığı müəyyən olunmuşdur. Müxtəlif maddi sistemlərdə zamanın keçmə sürətləri arasında əlaqə müəyyənləşdirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bütün ətalət sistemləri eynihüquqludur, təbiət qanunları, hadisələri bütün sistemlərdə eyni qanunauyğunluqla baş verir.

Eynşteynə görə mühit yalnız cazibəyə səbəb olan kütlənin mövcud olmadığı halda evklid mühiti ola bilər. Kütlənin mövcud olması zaman və məkanın dəyişməsinə gətirir. Bu zaman mühit qeyri-evklid olub, əyrixətli forma alır. Belə mühitdə ətalət üzrə hərəkət artıq evklid mühitdə olduğu kimi düzxətli deyil, əyrixətli olur. Düzxətlilik halından kənaraçıxma kütlənin və bununla əlaqədar cazibə sahəsinin meydana çıxması ilə əlaqədardır. Yəni cazibə sahəsində baş verən hərəkət qüvvə təsirilə baş verən məxsusi hərəkət olmayıb, mühitdə ətalət üzrə əyrixətli hərəkətdir.Buradan o çıxır ki, ətalət və qravitasiya kütlələri mahiyyətcə eynidir. Kütlənin təsir oblastında zamanın keçmə sürəti də dəyişir. Cazibə sahəsinin təsiri çoxaldıqca vaxt yavaş keçir.

Ətalət sistemi abstrakt anlayışdır. Təbiətdəki bütün cisimlər müəyyən qüvvə təsiri altında olduğundan ətalət sistemlər adlandırıla bilməzlər.

Alınmış nəticələri araşdırdıqdan sonra Eynşteyn belə nəticəyə gəldi ki, ümumiyyətlə, efir mövcud deyildir və bu anlayışdan istifadə etməyə heç bir ehtiyac yoxdur.

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin əsasını təcrübi faktların ümumiləşdirilməsi olan aşağıdakı iki postulat təşkil edir.

1.Yalnız mexaniki hadisələr deyil, təbiətin bütün hadisələri ətalət hesablama sistemlərində eyni qanunauyğunluqla baş verir.

2.Elektromaqnit dalğalarının, o cümlədən işığın boşluqda yayılma sürəti mənbəyin və qəbuledicinin sürətlərindən asılı olmayıb, sabit kəmiyyətdir. İkinci nəticəyə görə Qalileyin nisbilik prinsipində göstərilmiş sürətlərin toplanma qanunu doğru deyil.

Beləliklə, efirin mövcud olub-olmaması barədə aparılan təcrübələrin nəticələrini ümumiləşdirərək aşağğıdakı nəticəyə gəlmişlər ki, təbiətdə elektromaqnit dalğalarının (işıq şüasının) «daşıyıcısı» olan efir yoxdur. Elektromaqnit şüalanmasına maddi varlıq kimi baxılmalıdır.

2.5. LORENS ÇEVİRMƏLƏRİ

Qaliley çevirmələrindən alınan nəticələrin təhlili göstərir ki, bu çevirmələr əsasında alınmış sürətlərin toplanması qaydası nisbilik nəzəriyyəsinin II postulatına (işığın sürətinin sabit olmasına) ziddir. Bu onu göstərir ki, bir ətalət sistemindən digərinə keçdikdə zaman da çevrilməyə məruz qalmalıdır. Yəni zaman və koordinatlar üçün daha dəqiq çevirmələr axtarılmalıdır. Haqqında söhbət açacağımız Lorens çevirmələri buna misal ola bilər, Fərz edək ki, biri digərinə nəzərən sabit ϑ sürəti ilə hərəkət edən K və K' ətalət hesablama sistemləri verilmişdir.

K sistemində hər hansı hadisəyə uyğun gələn koordinatlar və zaman x, y, z, t; K' sistemində isə x' ,y', z', t' olsun. Klassik fizikaya görə zaman hər iki sistemdə eynidir, yəni t= t'. Əgər t= t'=0 anında hər iki sistemin koordinat başlanğıcları üst-üstə düşərsə, onda həmin sistemlərdə hadisələrin koordinat və zamanları arasındakı asılılıq (2.18) ifadəsilə təyin olunur. Yəni

$$\left.\begin{aligned} x &= x' + \vartheta t' = x' + \vartheta t \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t' \end{aligned}\right\} \qquad (2.22)$$

Burada K və K' sistemlərinin y və z oxları uyğun olaraq bir-birinə paraleldir, hərəkət isə x istiqamətində baş verir. (2.22) münasibəti Qaliley çevirmələri adlanır, həmin ifadələrdən zamana görə I tərtib törəmə alsaq,

$$\left.\begin{aligned} \vartheta_x &= \vartheta'_x + \vartheta \\ \vartheta_y &= \vartheta'_y \\ \vartheta_z &= \vartheta'_z \end{aligned}\right\} \qquad (2.23)$$

ifadəsini alırıq. (2.23) ifadəsi klasssik mexanikada sürətlərin toplanması qanunudur. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, Qaliley çevirmələri dəqiqləşdirilməlidir. Bu məqsədlə, tutaq ki, K' sistemi X oxu istiqamətində hərəkət edir və koordinat çevirmələri Qalileyin təklif etdiyi çevirmədən γ vuruğu ilə fərqlənir

$$x'=\gamma(x-\vartheta t),\quad x=\gamma(x'-\vartheta' t') \qquad (2.24)$$

Nəzərə alsaq ki, $\vartheta' = -\vartheta$-dir, onda

$$x'=\gamma(x-\vartheta t),\quad x=\gamma(x'+\vartheta t') \qquad (2.25)$$

γ-nı təyin etmək üçün ikinci postulatda göstərildiyi kimi

$$x=ct \text{ və } x'=ct' \qquad (2.26)$$

olduğunu nəzərə alıb (2.24)-dən

$$ct'=\gamma(c-\vartheta)t,\quad ct=\gamma(c+\vartheta)t' \qquad (2.27)$$

olmasını tapırıq. t'-i təyin edib ikinci tənlikdə nəzərə alsaq,

$$\gamma = \pm\frac{c}{\sqrt{c^2 - \vartheta^2}} = \pm\frac{1}{\sqrt{1 - \vartheta^2 / c^2}}\ . \qquad (2.28)$$

Biz burada hesablamanın X və X' oxları istiqamətində aparıldığını nəzərə alsaq bu ifadənin yalnız müsbət qiymətini götürməliyik, onda (2.24-ü) aşağıdakı kimi yazırıq:

$$x' = \frac{x - \vartheta t}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}, \quad x = \frac{x' + \vartheta t'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}} \qquad (2.29)$$

Zaman üçün çevirmələri tapmaq üçün (2.25)-dən x'-i təyin edib, ikinci tənlikdə nəzərə alsaq

$$x = \gamma\left[\gamma(x - \vartheta t) + \vartheta t'\right]$$

$$t' = \gamma t - \frac{x}{\vartheta}\left(\gamma - \frac{1}{\gamma}\right) = \gamma t - \frac{x}{\vartheta}\gamma\frac{\vartheta^2}{c^2}$$

tapırıq: buradan isə

$$t' = \gamma\left(t - \frac{\vartheta}{c^2}x\right) = \frac{t - \frac{x\vartheta}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}\ . \qquad (2.30)$$

Analoji qayda ilə

$$t = \gamma\left(t' + \frac{x'\vartheta}{c^2}\right) = \frac{t' + x'\frac{\vartheta}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}} \qquad (2.31)$$

olduğunu almaq olur. Hərəkət Y və Z oxları istiqamətində baş vermədiyindən Lorens çevirmələri adlanan çevirmələri aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$K \to K'$	$K' \to K$
$x' = \frac{x - \vartheta t}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}$	$x = \frac{x' + \vartheta t'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}$
$y' = y$	$y = y'$
$z' = z$	$z = z'$

$$t' = \frac{t - \frac{\vartheta}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}, \qquad \left. t = \frac{t' + \frac{\vartheta}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}} \right\} \quad (2.32)$$

Göründüyü kimi $\vartheta << c$ olduqda Lorens çevirmələri Qalileyin klassik çevirmələrinə çevrilir.

2.6. RELYATİVİSTİK KİNEMATİKA

Nyuton mexanikasında uzunluq və zaman mütləqdir, yəni hər hansı bir çubuğun uzunluğu bunun sükunətdə, yaxud hərəkətdə olmasından asılı olmayaraq sabitdir. Lakin əslində bu belə deyildir. Lorens çevirmələrindən nəticə olaraq alınır ki, nə zaman, nə də uzunluq mütləq deyildir. İndi bunları təhlil edək. Hərəkət edən cismin uzunluğunun dəyişməsini tapmaq üçün tutaq ki, möhkəm çubuq hərəkətdə olan K' sistemində yerləşdirilmiş və $O'X'$ oxu boyunca sistemlə birlikdə hərəkət edir. Onun uclarının koordinatları x'_1 və x'_2 olarsa, çubuğun uzunluğu

$$l_0 = x'_2 - x'_1 = const \quad (2.33)$$

olur. Çubuğun uzunluğunu sükunətdəki K sistemində ölçsək lorens çevirmələrinə əsasən

$$\ell_0 = x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - \vartheta t}{\sqrt{1 - \vartheta^2/c^2}} - \frac{x_1 - \vartheta t}{\sqrt{1 - \vartheta^2/c^2}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \vartheta^2/c^2}}$$

Burada l çubuğun K sistemində ölçülmüş həqiqi uzunluğudur. Buradan çıxır ki, K hesablama sisteminə nəzərən ϑ sürətilə hərəkət edən K' sistemində çubuğun l uzunluğu sükunətdə olan çubuğun l_0 uzunluğu ilə aşağıdakı kimi bağlıdır.

$$l = l_0\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}} \quad (2.34)$$

Hərəkətin baş verdiyi X oxuna perpendikulyar OY və OZ oxları istiqamətində çubuğun ölçüsünün dəyişməsi baş vermir.

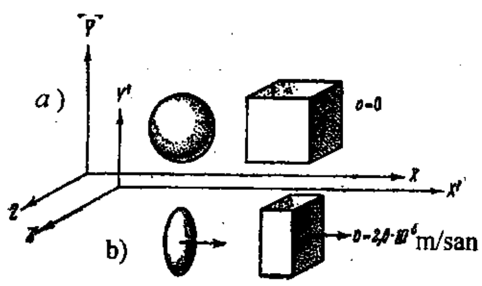
Kiçik sürətlər üçün $\vartheta << c$ $\sqrt{1 - \vartheta^2/c^2} = 1$ olduğundan hərəkətdə olan sistemdə cismin uzunluğunun dəyişməsi nəzərə alınmır. Belə ki, Yer kürəsinin orbit üzrə hərəkət sürətinin 30 km/s olmasına baxmayaraq hərəkət istiqamətində Yer diametrinin azalması yalnız 6,5 km təşkil edir. ϑ-lə c-nin fərqi az olduqda, məsələn,

$$\vartheta = \sqrt{\frac{3}{4}}c \approx 260000\, km/s$$

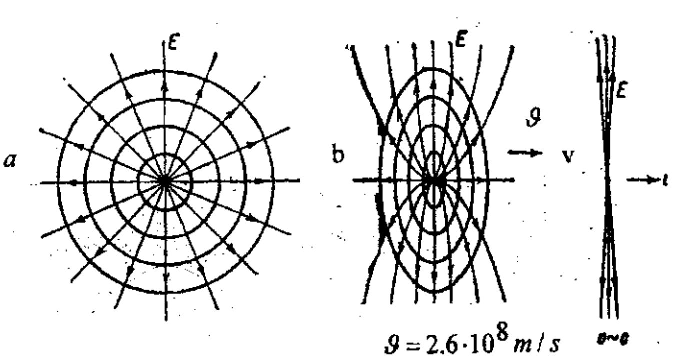
$$\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$$

olur. Yəni sükunətdə olan sistemdə uzunluğu 1 metr olan çubuq ϑ sürəti ilə hərəkət edən sistemdə 0,5 m uzunluğunda olur.

Ümumiyyətlə, hərəkət edən maddi hissəciklərin ölçülərinin kiçilməyə başladığı sürətlər relyativist sürət adlanır. Hazırda belə sürət laboratoriya şəraitində alına bilir. Məsələn, atom stansiyalarının nüvə reaktorlarında sürətli neytronlar üçün $\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$ =0,997 olur. Yəni qısalma 0,3 faiz təşkil edir. Sinxronfazatronla sürətləndirilən protonlar üçün $\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$ =1/11. Kosmosdan Yer səthinə çatan güclü relyativistik hissəciklər üçün $\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$ =10^{-7} olur və onların uzununa ölçüləri 10 milyon dəfə qısalmış olur. Şəkil 2.6a –da kürənin və kubun sükunətdə olan koordinat sistemində və bu sistemə nəzərən 260000 km/s sürətlə hərəkət edən koordinat sistemində (şəkil 2.6b) həndəsi formaları verilmişdir. Belə sürətlərdə cisimlərin hərəkət istiqamətindəki uzunluqları iki dəfə qısalır və kürə ellips formasını alır.



Şəkil 2.6



Şəkil 2.7

Çox böyük sürətli yüklü hissəciklər üçün buna bənzər eninə deformasiyaya uğrayan, onların yaratdıqları elektromaqnit sahəsi olur (şəkil 2.7a). Göründüyü kimi hissəciklərin sürətləri artdıqca sferik simmetrik sahə ellipsəbənzər formada (şəkil 2.7b), $\vartheta \sim c$ olduqda isə hərəkət istiqamətinə perpendikulyar xəttlər şəklində olur.

2.Hərəkət edən sistemdə vaxtın gedişi sükunətdəki sistemdən fərqli olur. Tutaq ki, hərəkət edən K' sisteminin x'_0 nöqtəsində iki ardıcıl hadisə baş vermişdir. Bu hadisələrin davam müddəti

$$\Delta t'_0 = t'_2 - t'_1 \qquad (2.35)$$

olur. Bu hadisələrə sükunətdə olan K sistemində baxsaq, hadisələrin baş verdiyi zaman fərqli, yəni hadisənin davam müddəti

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 + \frac{\vartheta}{c^2} x'_0}{\sqrt{1-\vartheta^2/c^2}} - \frac{t'_2 + \frac{\vartheta}{c^2} x'_0}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}} = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}} = \frac{\Delta t'_0}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}$$

$$\Delta t'_0 = \Delta t \cdot \sqrt{1-\vartheta^2/c^2} \qquad (2.36)$$

olur. Bu ifadədə $\Delta t'_0$ hadisənin hərəkət edən sistemdə olan saatla ölçüldükdə başvermə müddəti, Δt fərqi isə ϑ sürəti ilə ilə hərəkət edən sistemə nəzərən hadisələrin baş vermə müddətidir. (2.36)-dan göründüyü kimi cismə nəzərən sükunətdə olan saatla