

MEHANIKA, znanstvena disciplina koja proučava najjednostavnije oblike gibanja materije, tzv. mehanička gibanja, tj. promjene položaja materijalnih tijela u prostoru zavisno od vremena. Promjena položaja tijela posljedica je nekog vanjskog uzroka, sile, pa se u mehanici proučavaju i sile, tj. istražuju se uzroci gibanja. Pri tom se proučavaju opće zakonitosti uzajamnog djelovanja između tijela i sila, koje se eksperimentalno provjeravaju.

Naziv mehanika nastao je prema grč. μηχανική τέχνη mehanike tehne strojevna vještina. Mehanika je pomogla čovjeku u njegovu nastojanju da objasni materijalni svijet. Primjena principa mehanike u rješavanju problema iz oblasti drugih tehničkih djelatnosti omogućila je ne samo tumačenje mnogih prirodnih pojava nego i otkrića u drugim prirodnim i tehničkim znanstvenim disciplinama.

Osnovni problemi kojima se bavi mehanika jesu gibanje tijela i ravnoteža sila.

Statika je područje mehanike u kojem se proučavaju uvjeti ravnoteže, promatrajući mirovanje kao posebni slučaj gibanja. U statici se operira samo s pojmovima: *prostor* i *sila*.

Kinematika je područje mehanike u kojem se proučava gibanje tijela bez obzira na uzrok zbog kojeg je takvo gibanje nastalo. Gibanje se promatra pri zadanim geometrijskim uvjetima u zavisnosti od vremena i, prema tome, operira se samo s pojmovima: *prostor* i *vrijeme*.

Dinamika je područje mehanike u kojem se proučava zavisnost između gibanja i sila koje djeluju na tijelo, uzimajući u obzir i njegovu masu, pa se operira s pojmovima: *prostor*, *vrijeme*, *sila* i *masa*.

Polazeći od osnovnih pojmova mehanike, prostora, vremena, sile i mase, I. Newton je postavio tri osnovna aksioma mehanike (*axiomata sive leges motus*) na kojima se temelji Newtonova ili klasična mehanika. Teorijska proučavanja pojava i zakona gibanja, formuliranje njihovih definicija i poučaka, bez obzira na njihovo značenje u praktičnom životu, i služeći se samo matematičkim sredstvima, pripadaju *teorijskoj* ili *racionalnoj mehanici*. Mehanika u kojoj se zakoni i metode teorijske mehanike primjenjuju u tehnici zove se tehnička ili primijenjena mehanika. Proučavanje gibanja materijalnih tijela u mehanici osniva se na sljedećim pretpostavkama:

1) česticom (materijalnom točkom) smatra se tijelo zanemarljivo malih dimenzija, ali konačne mase; taj je pojam osobito važan u dinamici, dok se u kinematici može svesti na geometrijsku točku. Ulogu čestice može imati središte inercije sustava čestica, pri čemu se smatra da je u njima usredotočena masa cijelog sustava, npr. planeti su čestice ako se promatra njihovo gibanje oko Sunca ne uzimajući u obzir njihovu vlastitu rotaciju;

2) apsolutno čvrsto (kruto) tijelo naziva se tijelo u kojemu razmak između dvije bilo koje njegove točke ostaje uvijek nepromijenjen. Ako se taj razmak mijenja, tijelo se zove čvrsto (deformabilno);

3) pretpostavka o neprekidnoj sredini (kontinuumu) dopušta promjenu uzajamnog rasporeda elementarnih volumena. Tada, za razliku od krutog tijela, treba zadati beskonačno mnogo parametara da se definira gibanje tijela. U neprekidne sredine pripadaju čvrsta, tekuća i plinovita tijela. Prema tome, mehanika se obično razvrstava na: a) mehaniku čestice (materijalne točke), b) mehaniku sustava čestica (materijalnih točaka), c) mehaniku krutog tijela i d) mehaniku neprekidnih sredina (meha-

niku kontinuuma). Posljednja obuhvaća teoriju elastičnosti (v. *Nauka o čvrstoći*), hidromehaniku, aeromehaniku i dinamiku plinova itd. (v. *Mehanika fluida*). U mehanici se uglavnom primjenjuje deduktivna metoda, tj. najprije se formuliraju opći pojmovi i zakoni a zatim se logičkim zaključivanjem pomoću matematičkih i geometrijskih metoda izvode ostali poučci i principi. Pri tom se polazi od najjednostavnijih objekata: čestice i krutog tijela, a zatim se postupno uzimaju u obzir i druga fizikalna svojstva (elastičnost, plastičnost i sl.), i tako se približuje točnijem poznavanju zakona gibanja i ravnoteže stvarnih tijela u prirodi.

Zakoni i metode mehanike imaju široku primjenu u mnogim znanstvenim disciplinama pri rješavanju najrazličitijih i često veoma složenih tehničkih problema. Svi tehnički proračuni pri projektiranju i gradnji građevina, projektiranju i konstrukciji strojeva i mehanizama, transportnih vozila, pri proučavanju leta upravljivih i neupravljivih letjelica itd. temelje se na zakonima mehanike. Posebno značenje dobila je mehanika kada je započela era istraživanja svemira pomoću umjetnih nebeskih tijela. Proračuni kozmičkih putanja i razrada metoda upravljanja letom svemirskih letjelica veoma su složeni mehanički problemi.

Treba imati u vidu da klasična mehanika samo približno vjerno opisuje pojave gibanja u prirodi, jer se ona temelji na postulatima koji ne izražavaju posve točno geometriju svijeta i karakter djelovanja tijela u prirodi. To je postalo očigledno poslije Einsteinove specijalne teorije relativnosti, na kojoj se zasniva relativistička mehanika. Međutim, klasična mehanika, koja je zapravo specijalni (točnije, granični) slučaj relativističke mehanike, ne gubi svoje značenje, jer njeni postulati za brzine gibanja koje su dovoljno male u usporedbi s brzinom širenja svjetlosti s velikom točnošću zadovoljavaju zahtjeve mnogih grana tehnike. Sve grane mehanike razvijale su se i dalje se razvijaju u tijesnoj vezi s potrebama tehnike.

Mehanika kao najstarija grana fizike razvijala se usporedno s drugim granama fizike, npr. termodinamikom, optikom itd. Njene osnove bile su poopćene početkom XX stoljeća nakon otkrića fizikalnih polja i zakona gibanja mikročestica.

Da bi se zadovoljili specifični problemi pojedinih grana u različitim oblastima tehnike, razvila su se specijalna područja tehničkih disciplina, kao npr. teorija mehanizama (v. *Mehanizmi*), dinamika strojeva, teorija giroskopa (v. *Giroskop*, TE 6, str. 129), vanjska balistika (v. *Balistika*, TE 1, str. 672; v. *Oružje*), dinamika raketa (v. *Rakete*) itd., koje primjenjuju zakone mehanike krutog tijela. Nauka o čvrstoći ili otpornosti materijala i hidraulika imaju zajedničke osnove s teorijom elastičnosti, odnosno hidrodinamikom, ali one se bave praktičnim metodama proračunavanja, koje korigiraju eksperimentalne rezultate.

Osnovni pojmovi i metode mehanike. Zakoni klasične mehanike vrijede za tzv. inercijske ili Galilejeve koordinatne sustave, pa se u granicama u kojima vrijedi Newtonova mehanika vrijeme može smatrati nezavisnim od prostora. Osnovne kinematičke mjere gibanja jesu *brzina*, koja ima vektorski karakter jer određuje ne samo tok promjene puta s vremenom nego i pravac gibanja, i *ubrzanje* — vektor koji predstavlja mjeru promjene vektora brzine u zavisnosti od vremena. Kao mjere kružnog gibanja krutog tijela služe *vektori kutne brzine* i *kutnog ubrzanja*. U statici elastičnog tijela osnovno značenje ima *vektor*

pomaka i pripadni mu tenzor deformacija, u kojem su obuhvaćeni pojmovi relativnih produljenja i klizanja.

Pri proučavanju polja brzina tekućine u stanju gibanja upotrebljavaju se pojmovi *urtloga*, koji karakteriziraju rotaciju čestice, i pojmovi *tenzora brzina deformacija* (v. *Mehanika fluida*).

Sila je osnovni pojam uzajamnog djelovanja tijela koji karakterizira promjenu mehaničkog gibanja zavisnog od vremena. Sve bitne značajke sile, kao npr. intenzitet, pravac i smjer djelovanja te njeno hvatište jednoznačno određuju silu kao vektor.

Pojam sile uveden je Newtonovim zakonima (aksiomima) mehanike. Prvi zakon (zakon inercije) karakterizira gibanje tijela prema uvjetima njihove izoliranosti od drugih tijela ili pri uravnoteženosti vanjskih djelovanja. Drugi zakon ustanovljuje količinsku vezu između sile koja djeluje na česticu i promjene količine gibanja koju pobuđuje ta sila. Treći zakon izražava da su uzajamna djelovanja dvaju tijela uvijek jednaka i imaju isti pravac djelovanja, ali su suprotnog smjera. Dok se prva dva zakona odnose za jednu česticu, treći ima osnovno značenje za sustave čestica. Usporedno s tim trima osnovnim zakonima dinamike vrijedi i zakon nezavisnosti djelovanja sila, koji se svodi na pravilo paralelograma sila.

Osim navedenih pojmova, u mehanici se primjenjuju i druge veličine gibanja i djelovanja. Najvažnije su: vektorska veličina *količina gibanja* ($\vec{B} = m\vec{v}$), jednaka umnošku mase (m) i vektora brzine (\vec{v}), i skalarna veličina *kinetička energija*, jednaka polovici umnoška mase i kvadrata brzine ($\frac{1}{2}mv^2$). Pri rotaciji krutog tijela njegova su inercijska svojstva zadana *tenzorom inercije*, koji u svakoj točki tijela određuje dinamičke momente inercije i centrifugalne momente s obzirom na tri osi što prolaze kroz tu točku. Kao mjera rotacijskog gibanja krutog tijela služi *vektor momenta količine gibanja*, koji je jednak umnošku momenta inercije i kutne brzine. Kao mjere djelovanja sile služe: vektorska mjera *elementarni impuls sile* ($\vec{F}dt$), koji je umnožak sile (\vec{F}) i elementa vremena njena djelovanja (dt), i skalarna mjera *elementarni mehanički rad* ($\vec{F}d\vec{r}$), koji je skalarni umnožak vektora sile (\vec{F}) i elementarnog pomaka njena hvatišta ($d\vec{r}$). Pri rotacijskom gibanju kao mjera djelovanja služi *moment sile*.

Proučavanje ravnoteže i gibanja u mehanici kontinuuma temelji se na zakonima veze između tenzora deformacija ili brzina deformacija. Takav je Hookeov zakon u statici linearno elastičnog tijela i Newtonov zakon u dinamici viskozne tekućine. Postoje i druge relacije koje točnije karakteriziraju pojave što nastaju u realnim tijelima, kao npr. teorija puženja, teorija relaksacije i dr.

Odnosi između mjere gibanja čestice ili sustava čestica i mjere djelovanja sila sadržani su u općim poučcima dinamike: količine gibanja, momenta količine gibanja i kinetičke energije. Ti poučci izražavaju svojstva gibanja, i to diskretnog sustava čestica i kontinuuma. Pri razmatranju ravnoteže i gibanja neslobodnog sustava čestica, tj. sustava podvrgnutog unaprijed zadanim ograničenjima — mehaničkim vezama, važnu primjenu imaju opći principi mehanike — princip virtualnih pomaka i d'Alembertov princip. Princip virtualnih pomaka, princip minimalne potencijalne energije i princip Hamilton-Ostrogradskoga imaju široku primjenu u mehanici kontinuuma. Pri formuliranju zadataka mehanike polazi se od osnovnih jednadžbi koje izražavaju usvojene prirodne zakone. Za rješavanje tih jednadžbi primjenjuju se matematičke metode, od kojih su se mnoge razvile baš u vezi s problemima mehanike. Pri postavljanju i rješavanju zadataka uvijek treba usredotočiti pažnju na bitne karakteristike pojave. Kad treba uzeti u obzir sporedne faktore i kad se pojave zbog svoje složenosti ne mogu podvrci matematičkoj analizi, primjenjuju se specijalne eksperimentalne metode istraživanja koje se temelje na tehničkim fizikalnim eksperimentima. Za registriranje gibanja služe optičke i električne metode koje se temelje na prethodnim transformacijama mehaničkog pomaka i električnog signala. Za mjerenje sila služe različiti *dinamometri* i vage, s automatskim uređajima. Posebni uspjesi ostvareni su u mehanici kontinuuma. Naprezanje se mjeri optičkom metodom koja se sastoji u promatranju opterećenog prozirnog modela u polariziranom svjetlu (v. *Fotoelastimetrija*, TE 5, str. 525). Za mjerenje deformacija služe *tenzometrijske metode*, koje

su se veoma razvile i koje upotrebljavaju mehaničke i optičke tenzometre. Za mjerenje brzina i tlakova u tekućinama i plinovima u gibanju uspješno se primjenjuju termoelektrične, indukcijske i druge metode.

Historijski razvoj mehanike, kao i drugih grana fizike (v. *Fizika*, TE 5, str. 453), usko je vezan s razvitkom materijalne kulture čovječanstva i sastoji se uglavnom od tri razvojna razdoblja: antičke mehanike, srednjovjekovne mehanike i klasične ili Newtonove mehanike, koja obuhvaća i analitičku mehaniku. Ona se razlikuju karakterom problema i metodama rješavanja.

Antička mehanika. Porijeklo te riječi i mnogi historijski spomenici govore da su se ljudi bavili mehanikom i u najudaljenijoj prošlosti. Piramide Egipta, kule Babilona, hramovi i luke Grčke, mostovi i tvrđave starog Rima (Trajanov most preko Dunava) dokazuju da su ljudi već u starom vijeku raspolagali empirijskim znanjima s područja mehanike. Osim toga, posebno su se bavili nebeskom mehanikom, tj. motrenjem i proučavanjem gibanja nebeskih tijela koja su obožavali, pa se može reći da su prvi počeci mehanike istodobno s početkom religije i ljudske civilizacije. Prve temelje mehanike kao znanosti postavili su Grci, započevši interpretiranjem do tada nakupljenih empirijskih znanja. Najstarija njezina grana *statika* kao znanost datira od *Arhameda* iz Sirakuze (–287. do +212), koji je formulirao matematičke zakone poluge, a pripisuju mu se i koloturik, vijak i kolo na vretenu. Arhimed je formulirao pravilo sastavljanja i rastavljanja paralelnih sila i pokazao određivanje težišta sustava tereta obješenih posredovanjem štapa, te objasnio ravnotežu takva sustava. Njemu pripada otkriće i matematička formulacija osnovnih zakona hidrostatike (zakon uzgona u tekućinama). Svoja teorijska i praktička znanja primjenjivao je na različite probleme graditeljstva i ratne vještine. *Heron* iz Aleksandrije (živio između +250. i +150) proširio je zakone poluge i koloturika i razvio nauku o djelovanju klina, vijka, zupčanika i kola na vretenu. *Ptolemej* (živio u II st.) razvio je prvu dosta potpunu teoriju gibanja planeta u djelu *Almagest*, u kojem je tvrdio da je Zemlja nepokretna i da je središte svemira. To je djelo više od 15 stoljeća služilo kao glavni udžbenik astronomije. *Pappus Aleksandrijski* (u drugoj polovici III st.) razvio je metode određivanja težišta rotacijskih tijela, koje je kasnije usavršio švicarski matematičar *P. Guldin* (1577–1643). Nakon propasti tzv. aleksandrijske škole u VII stoljeću nastao je duži zastoj u razvoju mehanike i znanosti uopće.

Srednjovjekovna mehanika. Bilo je to razdoblje stvaranja osnova mehanike. S razvojem zanatstva, trgovine, moreplovstva i ratne vještine, i u vezi s tim sakupljenih novih znanja, u XIV i XV st. (epoha renesanse) počinje ponovni polet znanosti i umjetnosti. Događaj koji je korjenito promijenio dotadašnji nazor o životu i svijetu bilo je djelo poljskog astronoma *N. Kopernika* (1473–1543), u kojem je objavio svoje učenje o heliocentričnom sustavu svemira. Pobjeda tog učenja postavila je problem gibanja nebeskih tijela, što je omogućilo njemačkom astronomu *J. Kepleru* (1571–1630) da formuliра kinematičke zakone gibanja planeta. U vrijeme Kopernika živjeli su *Leonardo da Vinci* (1452–1519) i *G. Galilei* (1564–1642). Leonardo je između mnogobrojnih proučavanja i otkrića eksperimentalno istraživao slobodni vertikalni pad teškog tijela. To su bila, vjerojatno, prva u povijesti mehanike sistematski provedena eksperimentalna istraživanja. Galilei je jedan od glavnih utemeljitelja mehanike. Proučavajući problem padanja teškog tijela, Galilei je formulirao prvi osnovni zakon dinamike — *princip inercije*. Njemu pripada dokaz o paraboličnoj teoriji gibanja težišta projektila u praznom prostoru koji se temelji na zakonu sastavljanja gibanja, što ga je on također formulirao. U svom djelu *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno due nuove scienze attenenti alla meccanica* (Leiden, 1638), Galilei izražava princip relativnosti klasične mehanike. U specijalnom slučaju sile teže Galilei usko povezuje postojanje sile teže s postojanjem ubrzanja padanja, ali je tek Newton uvođenjem pojma mase točno formulirao odnos između sile i ubrzanja (drugi osnovni zakon dinamike). Istražujući uvjete ravnoteže jednostavnih strojeva i plivanja tijela, Galilei je zapravo primijenio princip virtualnih pomaka (doduše u početnom obliku). On je prvi eksperimentalno istraživao čvrstoću ukliještene grede i otpor tekućine pri gibanju tijela u njoj. Nasljednikom Galileja u oblasti mehanike bio je nizozemski učenjak *Christiaan Huygens* (1629–1695). On je dalje razvio pojam ubrzanja pravocrtnog i kružnog gibanja čestice (centripetalno ubrzanje) i riješio niz najvažnijih problema dinamike onog vremena — kružno gibanje tijela, oscilacije fizikalnog nihjala i zakone elastičnog sudara tijela. Polazeći od poučaka održanja količine gibanja, Huygens je dao potpunu teoriju sudara elastičnih i neelastičnih kugala.

Klasična ili Newtonova mehanika. Glavna zasluga točnog formuliranja osnovnih zakona mehanike pripada velikom engleskom učenjaku *I. Newtonu* (1642–1727), koji je u djelu *Matematički principi prirodne filozofije* (u to vrijeme fizika se nazivala prirodnom filozofijom), objavljenom 1687. godine, sintetizirao sve dotadašnje spoznaje na području mehanike i pokazao put daljeg razvoja mehanike za nekoliko stoljeća unaprijed. Newton uvodi pojam mase, poopćuje pojam sile i pomoću svojih tri zakona izgrađuje čitavu mehaniku. Svojim općim zakonom gravitacije postavlja temelje nebeske mehanike. Newton je otkrio i zakon unutrašnjeg trenja u tekućinama i plinovima. Njegovim djelom započinje era teorijske mehanike. Među ostalim istraživačima teorijske mehanike ističe se *R. Bošković* (1711–1787), koji u svojem djelu *Philosophiae naturalis* (1758) daje znatne priloge teorijskoj mehanici. U drugoj polovici XVII stoljeća engl. fizičar *R. Hooke* (1635–1703) eksperimentalno je postavio zakon odnosa naprezanja i deformacija u elastičnom tijelu. Tako su potkraj XVII stoljeća osnove mehanike bile prilično razradene, pa se to stoljeće može smatrati prvim razdobljem stvaranja osnova mehanike. U razvoju mehanike poslije Newtona glavna zasluga pripada *L. Euleru* (1707–1783), koji je razvio dinamiku čestice primjenom metoda analize beskonačno malih veličina za rješavanje jednadžbi gibanja čestice. Euler je utemeljitelj mehanike krutog tijela. On je razradio metode kinematičkog opisivanja gibanja krutog tijela pomoću *tri Eulerova kuta*. U daljem razvoju dinamike i mnogobrojnih njenih tehničkih primjena temeljne su bile Eulerove diferencijalne jednadžbe rotacije krutog tijela oko nepomične točke. Euler je osnažio i hidrodinamiku. On je postavio osnovne jednadžbe dina-

mike idealne tekućine, i osnove teorije broda i teorije stabilnosti elastičnih štapa, a dao je i osnove teorije proračuna vodnih turbina. Razvoju hidromehanike pridonio je, usporedno s Eulerom, Daniel Bernoulli (1700—1782). Potkraj XVIII stoljeća objavljeni su eksperimentalni zakoni trenja, što ih je formulirao Ch. A. Coulomb (1736—1806). Znatno se razvila nebeska mehanika, koju je uglavnom razradio P. S. Laplace (1749—1827). Ruski učenjak M. V. Lomonosov (1711—1765) jedan je od prvih koji je formulirao osnovne definicije kinetičke teorije plinova i širenja topline. Povijest razvoja dinamike neslobodnog sustava vezana je s razvojem principa virtualnih pomaka. Prvi ga je primijenio nizozemski učenjak S. Stevin (1548—1620) pri proučavanju ravnoteže koloturta. Johann Bernoulli (1667—1748) dao je tom principu opću formulaciju koja je bliska današnjoj, a taj princip prvi je dokazao J. L. Lagrange (1736—1813). On je najviše doprinio razvoju analitičke mehanike neslobodnog sustava. U djelu *Mécanique analytique* analitički je razradio d'Alembertov princip — opću formulu dinamike. Njegova obrada tog principa potpuno odgovara suvremenoj formulaciji kao uvjetu ravnoteže zadanih sila i u mislima priloženih na točke sustava fiktivnih sila inercije. Predodžba o silama inercije prihvaćena je kasnije kao osnova za praktične inženjerske metode dinamičkih proračuna strojeva i mehanizama, poznatih pod općim nazivom *Kinetostatika*. Polazeći od opće formule dinamike, Lagrange je upozorio na dva osnovna oblika diferencijalnih jednačbi gibanja neslobodnog sustava, poznatih pod nazivom Lagrangeove jednačbe prvog i drugog reda. Njegova istraživanja pod općim nazivom *O malim oscilacijama proizvoljnog sustava tijela* temelji su suvremene teorije vibracija. Sredinom XIX st. formuliran je princip održanja energije. Nagli napredak na području gradnje novih strojeva i težnja za njihovim daljim usavršavanjem potaknuli su u prvoj četvrtini XIX st. stvaranje primijenjene ili tehničke mehanike. J. V. Poncelet (1788—1867) jedan je od utemeljitelja sistematike tehničke mehanike. U prvim radovima iz tog područja formuliran je pojam mehaničkog rada sile. U to vrijeme počinje razvoj novih općih principa dinamike, varijacijskih principa. Prvi takav princip bio je princip najmanjeg djelovanja. Strogu matematičku formulaciju tog principa dao je Euler. Kasnije su u poopćenju tog principa sudjelovali Lagrange, njemački učenjak K. Jacobi i ruski N. E. Žukovski. Među općenitijim varijacijskim principima valja istaći princip W. R. Hamiltona i M. V. Ostrogradskoga. Najvažniji su u razvoju općih metoda integriranja diferencijalnih jednačbi gibanja bili radovi Ostrogradskoga, Hamiltona i M. H. Jacobija. Među najvažnijim problemima mehanike XIX stoljeća jesu: gibanje teškog krutog tijela, opća teorija stabilnosti ravnoteže i gibanja, te problem oscilacija čestice.

Teorija gibanja giroskopa bila je razrađena u radovima Eulera, Lagrangea, S. Kovalevske i drugih, i postala je veoma važna u XX stoljeću. Znatno su doprinijeli rješavanju problema stabilnosti ravnoteže i gibanja materijalnih sustava Lagrange, engl. učenjak E. Routh i N. E. Žukovski. Stroga postavka tog problema i prikaz najopćenitijih metoda za njegovo rješavanje pripada A. M. Ljapunovu. Dalji razvoj teorije malih oscilacija u XIX stoljeću bio je uglavnom vezan s proračunom utjecaja otpora u slučaju prigušenih oscilacija i vanjskih poremećajnih sila što pobuđuju prisilne oscilacije. Teorija prisilnih oscilacija i učenje o rezonanciji pojavili su se radi reguliranja rada strojeva. U XIX stoljeću uslijedio je dalji razvoj mehanike kontinuuma. Opće jednačbe teorije elastičnosti postularao je L. M. H. Navier, a dalje ih razvio A. L. Cauchy. Veoma su važni radovi na tom području J. C. B. Saint-Venanta, G. Lamèa i drugih. Pojavilo se i učenje o vrtlozima u tekućini (G. Helmholtz) i postavljene su osnove dviju novih grana hidromehanike: dinamike viskozne tekućine (L. M. H. Navier i G. G. Stokes) i dinamike plinova (S. A. Čaplygin i drugi). Hidrodinamičku teoriju trenja postavio je N. P. Petrov. Potkraj XIX st. pojavio se poseban problem — gibanje tijela promjenljive mase, čiji je osnivač I. V. Meščerski. Pionirni razvoj teorije reaktivnog gibanja smatra se K. E. Ciolkovski. U XX st. problemi elektrotehnike, radio-tehnike, tehnike automatskog reguliranja rada strojeva i proizvodnih procesa, tehničke akustike i dr. potakli su razvoj nove grane mehanike — teoriju nelinearnih oscilacija. Osnove te grane mehanike obrađene su u radovima A. M. Ljapunova i A. Poincaréa.

Bitna nadgradnja Newtonove klasične mehanike počinje početkom XX st., i to u dva smjera: Einsteinovom specijalnom teorijom relativnosti (1905) i Planckovim otkrićem elementarnog kvanta energije (1900). Jedna je od bitnih konzekvencija teorije relativnosti, za razliku od klasične mehanike, da masa nije konstantna, već je funkcija brzine kojom se tijelo giba, odnosno da postoji ekvivalenost između mase i energije, $E = m_0 c^2$, tj. da su masa (m) i energija (E) samo dva oblika kojima se manifestira materija. Einsteina teorija relativnosti našla je eksperimentalnu potvrdu i u makrosvijetu, a posebno u mikrosvijetu.

Problemi suvremene mehanike. Među osnovnim problemima suvremene mehanike u prvom su redu već spomenuti problemi teorije oscilacija, dinamike krutog tijela i teorije stabilnosti gibanja. Problemi oscilacija usko su vezani s problemima radio-tehnike, automatskog reguliranja i upravljanja gibanjem, te s problemima mjerenja, predviđanja i sprečavanja vibracija u strojevima, građevnim konstrukcijama, transportnim sustavima i dinamičkim letjelicama. Glavni problemi dinamike krutog tijela obrađuju se u mehanici leta (v. *Mehanika leta*), brodskoj dinamici, teoriji giroskopskih sustava i uređaja (v. *Giroskop*, TE 6, str. 129), što se uglavnom primjenjuju u aeronavigaciji i moreplovstvu. Dosadašnji su rezultati istraživanja svemira pomoću umjetnih nebeskih tijela uzrok da su se neke grane mehanike ponovno istakle, kao npr. nebeska mehanika i metode računa varijacija pri pronalaženju najboljih rješenja. Konačno se opet pojavio interes i za probleme specijalne i opće teorije relativnosti, a u vezi s tim i za problem opće gravitacije. Posebna se pažnja pridaje proučavanju dinamike sve-

mirskih letjelica, pri čemu se za razliku od aerodinamike aviona sada proučavaju još i najbolje putanje, problemi upravljanja umjetnim nebeskim tijelima i problemi nelinearne mehanike leta. Jedna od najnovijih grana mehanike, *magnetohidrodinamika*, bavi se proučavanjem pojava pri letu materijalnih tijela hipersoničnim brzinama ($Ma > 5$) kroz Zemljinu atmosferu. Nastala je spajanjem dviju grana fizike: elektromagnetizma i hidrodinamike. Ona zapravo proučava djelomičnu ionizaciju zraka, što nastaje pri gibanju kroz zrak materijalnih tijela vrlo velikim brzinama. Ta je nova grana mehanike vrlo bitna za proučavanje problema toplinske barijete, tj. toplinskog efekta što nastaje zbog aerodinamičkog zagrijavanja.

STATIKA

Statika proučava uvjete ravnoteže materijalnih tijela na koja djeluju sile i zakone transformacije sustava sila što djeluju na kruta tijela. Pod *statičkom* ravnotežom tijela razumijeva se njegovo stanje *mirovanja* s obzirom na određeni sustav referencije. Ako je to inercijski sustav, ravnoteža je *apsolutna*, u protivnom *relativna*. U tehničkim problemima u većini slučajeva za inercijski sustav referencije može se uzeti sustav vezan za Zemlju. Ako se tijelo djelovanjem sila giba pravocrtno i jednoliko ($v = \text{const.}$), tijelo je u *dinamičkoj* ravnoteži. Tada za tijelo vrijedi prvi Newtonov aksiom (zakon inercije), tj. tijelo se ponaša kao da na nj ne djeluje nikakva sila. Stanje mirovanja pojam je kinematike i pod njim se razumijeva gibanje kada je brzina jednaka nuli ($v = 0$).

Statika (grč. *statičē* statike, prvobitno značenje: *učenje o težinama i ravnoteži*) najstarija je grana mehanike, njezini osnovni zakoni bili su uglavnom poznati već u starom vijeku. Prve znanstvene temelje postavio je Arhimed iz Sirakuze u —III st. Među ostalim, postularao je strogu teoriju ravnoteže poluge na koju djeluju paralelne sile. U XVII st. francuski je matematičar P. Varignon razradio geometrijsku teoriju ravnoteže s pomoću pojma o momentu sile, koju su u XIX st. svojim radovima dopunili francuski učenjaci L. Poinset (1777—1859) i M. Chasles (1793—1880). Time su uglavnom bile postulirane osnove teorije statike krutog tijela.

Podjela statike. Prema načinu i metodama proučavanja uvjeta ravnoteže razlikuje se *geometrijska* i *analitička* statika krutih tijela. U prvoj se proučavaju metode svođenja ili redukcije zadanog sustava sila na jednostavniji oblik. Osim toga, postularaju se uvjeti ravnoteže tih sustava sila. Kako je sila koja djeluje na kruto tijelo klizeći vektor, mogu se pri tom upotrijebiti metode vektorske algebre. Zbog toga razmatranja u tom dijelu statike imaju geometrijski karakter, pa se taj dio statike naziva još i *geometrijom sila*.

Problemi statike krutih tijela mogu se rješavati ili s pomoću *grafičkih* metoda ili *analitičkim* postupkom, pri čemu se zadane i tražene veličine razmatraju i određuju numerički. Grafički način rješavanja ima široku primjenu u tehničkoj praksi i poznat je pod nazivom *grafostatika*. Analitička statika zasniva se na principu virtualnih radova, koji se ubraja u fundamentalne principe mehanike. Taj princip daje opći kriterij ravnoteže mehaničkih sustava. Prema agregatnom stanju tijela razlikuje se *statika čvrstih tijela* (ili samo statika), *statika tekućina* (hidrostatika) i *statika plinovitih tijela* (aerostatika). Statika čvrstih tijela razvrstava se na statiku *krutih* (stereostatika) i statiku *elastičnih* tijela (elastostatika, statika deformabilnih tijela, nauka o čvrstoći ili otpornost materijala). U posljednje vrijeme razvija se i statika *plastičnih* tijela (plastostatika).

Statički pojam sile. Pod silom se u statici razumijeva količinska mjera mehaničkog uzajamnog djelovanja između materijalnih tijela. Sila predstavlja primarni pojam u statici. Njeno djelovanje na kruto tijelo određuje se: a) brojnomo vrijednošću (iznosom, modulom ili intenzitetom), b) pravcem i smjerom sile i c) njenim hvatištem, tj. točkom u kojoj sila djeluje na tijelo, a to su karakteristike vektorskih veličina. Na sl. 1 sila \vec{F} u uzetu AB , kojemu je jedan kraj vezan za tijelo u točki A , djeluje u pravcu AB i ima smjer od A prema B , prikazan strelicom. Pravac u kojem djeluje sila, u jednom ili drugom smjeru, zove se pravac djelovanja sile. Brojna vrijednost ili intenzitet određen je težinom obješeg tereta F , odnosno odsječkom AC i obično se označava sa $|\vec{F}|$ ili jednostavno sa F .