



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ
ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



Молекулска теорија чврстих тела и течности кроз експерименте у гимназији

- мастер рад -

Ментор:
Проф. др Соња Скубан

Кандидат:
Радмила Николић

Нови Сад, 2018. године

Желим да изразим захвалност свом ментору, др Соњи Скубан, на предложеној теми, корисним саветима и идејама, као и за стрпљењу и помоћи приликом израде овог мастер рада.

Захваљујем се члановима комисије на времену, коментарима, разумевању и помоћи током студија.

Рад посвећујем родитељима, који су моја највећа подршка.

Садржај

1. Увод.....	4
2. Наставни план и образовни стандарди	5
2.1. Образовни стандарди у настави физике за 2. разред средњих школа.....	6
2.1.1. Образовни стандарди за физику који одговарају градиву које се ради у оквиру теме „ Молекулска теорија чврстих тела и течности и фазни прелази”	6
3. Методика наставе физике	7
3.1. Основне карактеристике наставе физике.....	7
3.2. Циљеви и задаци наставе физике	8
4. Експеримент у настави физике.....	9
4.1. Једноставни експерименти у настави физике.....	9
4.2. Демонстрациони експерименти	10
4.3. Лабораторијске вежбе.....	11
4.4. Мултимедијални експерименти у настави физике	11
5. Молекулска теорија чврстих тела и течности.....	12
5.1. Молекулске силе	12
5.1.1. Особине молекулских сила.....	12
5.2. Топотно ширење чврстих тела.....	14
5.2.1. Линеарно ширење чврстих тела	15
5.2.2. Запреминско ширење чврстих тела.....	16
5.2.3. Веза коефицијента запреминског и линеарног топлотног ширења	16
5.2.4. Површинско ширење	17
5.3. Топотно ширење течности	17
5.3.1. Мењање густине при загревању	18
5.4. Микроскопско тумачење топлотног ширења	18
6. Особине чврстих тела.....	19
6.1. Основне особине кристалног стања	19
6.2. Монокристали и поликристали.....	19
6.3. Унутрашња структура кристала. Кристална решетка	20
6.4. Еластичне деформације	22
6.5. Хуков закон.....	24
6.6. Деформације и молекулске силе.....	26
7. Особине течности	26
7.1. Вискозност	27
7.1.1. Њутнов закон вискозности.....	29
7.1.2. Сила отпора. Стоксов закон	31
7.2. Површински напон.....	31
7.2.1. Сила површинског напона	33
7.3. Капиларне појаве.....	34
8. Лабораторијске вежбе	38

8.1.	Хуков закон истезања жице; Мерење модула еластичности	38
8.2.	Методе мерења коефицијента вискозности	41
8.2.1.	Оствалдов вискозиметар	41
8.2.2.	Стоксова метода – Хеплеров вискозиметар	43
8.2.3.	Мерење коефицијента вискозности помоћу проточног вискозиметра.....	46
8.3.	Мерење коефицијента површинског напона	47
8.3.1.	Метода капиларе	48
8.3.2.	Метода капи.....	50
8.3.3.	Метода микроваге	52
9.	Демонстрациони експерименти.....	56
9.1.	Одређивање коефицијента вискозности	56
9.2.	Одређивање термичког коефицијента ширења течности.....	58
9.3.	Одређивање модула еластичности савијањем.....	60
9.4.	Аномалија воде.....	61
10.	Једноставни огледи	65
10.1.	Оглед 1. Стрелица топлог срца	65
10.2.	Оглед 2. Касица за хладне новчиће.....	66
10.3.	Оглед 3. Сферни балон од сапунице.....	67
10.4.	Оглед 4. Направи опну од сапунице	68
10.5.	Оглед 5. Новчић остаје на површини воде.....	70
10.6.	Оглед 6. Вода у ситу?	71
10.7.	Оглед 7. Термоскоп	72
10.8.	Оглед 8. Разбежани бибер.....	73
10.9.	Оглед 9. Куглица од воска	74
10.10.	Оглед 10. Обојена салвета	75
11.	Употреба мултимедија	76
11.1.	Компјутерске симулације	76
11.1.1.	Атомске интеракције	76
11.1.2.	Хуков закон.....	78
11.2.	Видео експерименти.....	79
11.2.1.	Испитивање вискозности течности	79
11.2.2.	Шарени целер	80
11.2.3.	Убрус који се сам боји	82
	Закључак	84
	Литература.....	85
	Прилог 1	87
	Кратка биографија	91
	Кључна документацијска информација.....	92

1. Увод

Физика (грчки: φύσις, phîsis: природа) је основна природна наука која проучава основна или суштинска својства природних појава и тела. Физичари проучавају основна својства, структуру и кретање материје у простору и времену. Физичке теорије се најчешће изражавају као математичке релације. Најутемељеније појаве се називају физичким законима или законима физике, међутим, и они су као и све друге научне теорије, подложни променама. Физика је уско повезана са другим природним наукама, као што је математика (због математичког описивања природе), онда хемијом, науком која се бави атомима - хемијским елементима и молекулима (хемијским једињењима).

Током времена се садржај наставе физике мењао. Промене су условљене развојем физике као науке, затим садржајем њених метода, задацима школе и усавршавањем наставних метода.

Експеримент у настави физике је постао основни извор знања. Развојем експерименталне методе у настави физике јаче се истиче логичка страна наставног градива које се излаже. Развојни утицај сваког експеримента састоји се нарочито у томе што он открива неумољиву логику узрочно-последичних веза у природним појавама. Када говоримо о настави физике, подразумевамо да он претпоставља узајамну повезаност скупа важних елемената: теоријског садржаја, експерименталних метода, укључујући наставна средства (прибор, уређаје, апаратуре...), организационе форме, образовне и педагошко-васпитне ефекте.

У физици, као и у осталим природним наукама, посматрање је успешније уколико је прецизно и објективно. Стога се у ту сврху користи управо експеримент. Сама реч експеримент потиче од латинског експериментум, што дословно значи испитивање. Експеримент подразумева посматрање, мерење величина којима се карактерише објекат или појава.

У настави физике у основним и средњим школама ученици уче различите законе којима се утврђује узајамна веза између најразличитијих појава у природи. Поред неоспорног значаја који има правилно формулисање физичких закона треба посветити пуну пажњу и средствима које се користе да би ученици добро упознали све физичке законе. С пуно разлога се наглашава да је јако значајно да наставник организује наставни процес тако да се ученици нађу у ситуацији као да откривају већ познате истине, чиме се у том процесу обезбеђује и логика откривања физичког закона. Експеримент приближава физичку појаву ученику.

У овом раду биће обрађене јединице које се односе на међумолекулске силе, силе површинског напона, еластичне деформације, особине чврстих и течних тела са становишта молекулске физике, а које се раде у настави физике у другом разреду гимназије. Кроз низ експеримената ће се показати како је могуће ученицима пружити још једну димензију схватања и утврђивања научених теоријских чињеница везаних за споменуту област.

2. Наставни план и образовни стандарди

Тематске јединице које ће бити обрађене у овом раду налазе се у склопу теме „Молекулска теорија чврстих тела и течности и фазни прелази”, која се ради у другом разреду гимназије природно-математичког смера. У гимназијама друштвено-језичког смера у другом разреду, обрађују се у склопу теме „Молекулске силе и агрегатна стања”. Наставне јединице које су обрађене у овом мастер раду су означене редним бројевима 1,2 и 3 из дела годишњег плана који је приложен испод.

Део годишњег, глобалног плана дат је у табели 1.

Наставна тема	Наставне јединице	Број часова			Укупно часова
		Обрада	Утврђивање и други типови часа	Лабораторијске вежбе	
Молекулске силе и агрегатна стања	1. Молекулске силе. (Р) Топлотно ширење чврстих тела и течности. (П) 2. Структура чврстих тела (кристали). (Р) Еластичност чврстих тела, Хуков закон. (П) 3. Вискозност у течности, Њутнов и Стоксов закон. Површински напон течности и капиларност. (П) 4. Испаравање и кондензовање, засићена пара, кључање. Топљење и очвршћавање. Испаравање кристала и сублимација. Дијаграми прелаза. (Р) 5. Промене унутрашње енергије при фазним прелазима. Једначина топлотног баланса. (П)	9	7	4	20
	Лабораторијске вежбе - Одређивање модула еластичности жице - Мерење коефицијента површинског напона				

Табела 1. Део глобалног плана за II разред гимназије природно-математичког смера (3 часа недељно, 108 часова годишње) Први ниво: обавештено (О); Други ниво: разумевање (Р); Трећи ниво: примена (П)

2.1. Образовни стандарди у настави физике за 2. разред средњих школа

Стандарди у образовању су мере нивоа развијености одређених ученичких компетенција. Компетенције подразумевају различите видове знања, вештина и ставова које ученик поседује. Закон о основама система образовања и васпитања, предвидео је дефинисање стандарда за основно и средње образовање, чиме би се стандардизовало знање које ученици треба да усвоје и компетенције које треба да развију у доуниверзитетском образовању.

За неке исказе, нпр. оне повезане са вештинама мерења, постоји само индиректна потврда у резултатима испитивања. То је зато што коришћени инструменти испитивања нису имали могућности да такве вештине измере. Ипак, они су укључени у стандарде зато што су те компетенције препознате као битне.

2.1.1. Образовни стандарди за физику који одговарају градиву које се ради у оквиру теме „Молекулска теорија чврстих тела и течности и фазни прелази”

Образовни стандарди ученичких постигнућа развијени су на три нивоа: основном, средњем и напредном. Помоћу њих су описана очекивања за шта би ученик био способан да постиже у вези с одређеним садржајем физике.

- Стандарди за основни ниво дефинишу постигнућа (знање, вештине и ставове) које ученик треба да поседује како би после средње школе активно и продуктивно учествовао у различитим областима живота (друштвеном, привредном, образовном, породичном, личном).
- Стандарди за средњи ниво дефинишу постигнућа (знање, вештине и ставове) које ученик треба да поседује како би могао успешно да настави факултетско образовање у различитим областима.
- Стандарди за напредни ниво дефинишу постигнућа (знање, вештине и ставове) које ученик треба да поседује како би могао успешно да настави факултетско образовање у области физике, технологије и других сродних, с физиком повезаних дисциплина.

Ови стандарди су организови тако да виши нивои знања подразумевају овладаност садржајима са претходних нивоа. Подразумева се да ће ученици који решавају задатке са напредног нивоа умети да реше задатке и са претходна два нивоа. [23] Стандарди који су наведени одговарају наставним јединицама које овај рад обухвата, не целој наставној теми.

Основни ниво:

2.ФИ.1.1.7. Разуме смисао појмова притисак код свих агрегатних стања;

2.ФИ.1.2.2. Разликује основна агрегатна стања супстанце и њихова основна топлотна и механичка својства.

Средњи ниво:

2.ФИ.2.1.3. Примењује Хуков закон за објашњавање еластичних својстава тела;

2.ФИ.2.2.3. Описује загревање, хлађење, промене агрегатних стања –ширење тела при загревању.

Напредни ниво:

2.ФИ.3.1.2. Користи и разуме међумолекулске интеракције у флуидима за објашњење површинског напона и вискозности течности;

2.ФИ.3.2.1. Тумачи дијаграме који приказују промене стања гаса у сложеним или цикличним процесима и график који описује међусобну интеракцију између молекула – потенцијалну криву.

3. Методика наставе физике

Методика је педагошка научна дисциплина која се бави теоријском разрадом и практичном применом општих дидактичких, педагошких и психолошких законитости у домену наставе конкретне струке датог школског предмета.

Методика наставе физике је релативно млада наука (тек је на конгресу природњака у Мерану 1905. године постављен захтев да се физика изучава као посебан наставни предмет). Она истражује законитости, путеве и средства васпитања и образовања у процесу организованог изучавања физике. Развој физике поставио је последњих деценија озбиљне проблеме пред методику физике. Брзина којом се раније стицало знање постала је недовољна у садашњим условима. Постоје два основна правца развоја којима се ови проблеми покушавају преважићи. Један је увођење и примена техничких помагала, а други, радикалне измене планова и програма, па и самих поступака изучавања физике.

3.1. Основне карактеристике наставе физике

Мада настава обухвата само основе науке, те основе морају бити научно тачне, на оном степену науке на ком се она налази. Никаква импровизација или популарни начин излагања у настави није дозвољен. Мора се наћи начин да за сваки узраст излагање буде научно тачно. Научност се не састоји само у увежбавању тачних дефиниција и детаља, већ ће предавање бити научно ако је у складу са прогресивним схватањима.

Један затворен круг наставе, без обзира на коме се ступњу изводи, мора се организовати тако да ученици стекну заокружено знање, које касније могу сами проширивати и у њега уклапати нова сазнања. У одабирању наставног програма који ће дати целовиту слику света на одређеном нивоу, важно је да се одвоје битне од мање битних

чињеница. То су основни појмови који се повезују на одређен начин. Шта ће бити основни појмови и колико ће их бити, зависи од ступња извођења наставе, као и од намене тог курса.

Трећи важан елемент у формирању одређеног наставног процеса је редослед у излагању појединих области. Редослед излагања у настави не прати логику развоја физике као науке, већ мора поштовати одређене дидактичке принципе.

3.2. Циљеви и задаци наставе физике

Циљ наставе физике јесте да се осигура да сви ученици стекну базичну језичку научну писменост, да се оспособе да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама, да изразе и образложе своје мишљење и дискутују са другима, развију мотивисаност за учење и заинтересованост за предметне садржаје, као и да упознају природне појаве и основне природне законе. Циљ је такође и да се ученици оспособе за уочавање и распознавање физичких појава у свакодневном животу, као и да се усмере према примени физичких закона у свакодневном животу и раду.

Задаци наставе физике су:

- развијање функционалне писмености;
- упознавање основних начина мишљења и расуђивања у физици;
- разумевање појава, процеса и односа у природи на основу физичких закона;
- развијање способности за активно стицање знања о физичким појавама кроз истраживање;
- развијање радозналости, способности рационалног расуђивања, самосталности у мишљењу и вештине јасног и прецизног изражавања;
- развијање логичког и апстрактног мишљења;
- схватање смисла и метода остваривања експеримента и значаја мерења;
- решавање једноставних проблема и задатака у оквиру наставних садржаја;
- развијање способности за примену знања из физике;
- развијање свести о сопственим знањима, способностима и даљој професионалној оријентацији.

4. Експеримент у настави физике

Постоје две основне врсте експерименталног рада у настави физике: демонстрациони огледи (у које спадају и једноставни огледи, као и компјутерске симулације, на пример), које у већини случајева припрема и изводи наставник приликом интерпретације наставног градива; и лабораторијске вежбе, које, по правилу изводе сами ученици (уз помоћ наставника, наравно). Оба вида експеримента су неопходна како би се свеобухватно објаснило изложено градиво и увек је добро уколико се створе услови да то буде и учињено у току наставног процеса.

Основно средство у настави физике је физички експеримент. Никаква друга средства не могу да замене непосредно посматрање физичке појаве. Физички експеримент представља изазивање појаве која се проучава под нарочито подешеним условима који се могу контролисати и мењати, а који су најподеснији за њено посматрање и проучавање. Може се рећи да је експеримент савршена форма посматрања.

Једна од карактеристика сваког физичког експериментра је то да експериментатор по личном нахођењу изазива појаву коју треба проучити под потребним условима. Друга карактеристика је слободно мењање појаве која се проучава, тј. изоловање појединих парцијалних процеса и њихово изоловано мењање. Значај физичког експеримента је и у томе што се при његовом вршењу учи и навикава да се из посматраних појава издвајају најбитнија, суштинска обележја.

4.1. Једноставни експерименти у настави физике

Једноставни експерименти су експерименти за чије реализовање није потребна скупа апаратура, већ се могу реализовати помоћу материјала који се налази свуда око нас. Употребом једноставних експеримената у настави физике постиже се:

1. Боље разумевање природних појава;
2. Схватање узрочно-последичних веза појава у природи;
3. Усвајање знања која су, усвојена овим путем, трајнија од традиционалног усвајања знања;
4. Подстицање креативности, заинтересованости и радозналости код ученика;
5. Увођење научног метода у наставу.

При извођењу ових експеримената наставник је посредник између науке и ученика. Битна карактеристика једноставних експеримената је њихов мотивациони карактер. Сваким успешним извођењем ученик бива мотивисанији да настави са извођењем експеримената и усвајањем знања из физике, у овом случају.

Циљеви једноставних демонстрационих огледа могу да буду различити:

- посматрање физичке појаве коју треба проучити на датом часу;
- „откривање“ неког закона физике или илустрација закона до ког се дошло;
- теоријским путем или на други начин, упознавање ученика са практичном применом неке појаве или закона;
- упознавање ученика са методама извођења експеримента.

4.2. Демонстрациони експерименти

Демонстрацију експеримента у физици не треба сматрати као допуну усменом излагању градива већ као његов, нераздвојни, органски део. Исто тако, демонстрациони експеримент не треба сматрати ни само као методу предавања јер он представља значајан део садржаја физике. Демонстрациони експеримент је експеримент који претежно изводи наставник, а који истовремено посматрају сви ученици разреда, а могуће је и наставниково извођење експеримента са учеником.

Извођењем демонстрационих експеримената тежи се повећању мотивације за учење физике код ученика, конкретизацији и примени теоријских знања, илустровању одређених принципа и закона, развијању критичког мишљења код ученика, повећању њихове заинтересованости за изучавање градива, а могу се искористити и при оцењивању ученика. При проучавању физике неопходна је школска припрема демонстрационог експеримента да би се код ученика формирале основне представе о појавама, физичким величинама, процесима и законима као и о конструкцији и раду неких апарата и техничких уређаја. Да би експеримент био поуздан, такође је потребна темељна припрема наставника и испробавање експеримента пре часа. Експеримент мора бити видљив, приступачан и очигледан – ово се постиже избором апаратуре, поступака и средстава, који су што је могуће уочљивији.

Демонстрациони експеримент се примењује у оним случајевима кад наставник мора активно да усмерава ток мисли при проучавању неке појаве или закона физике. Демонстрирајући појаву, наставник руководи чулима и перцепцијама ученика и на основу њих формира појмове и убеђења. Демонстрирање експеримента се увек комбинује са излагањем наставника, што је неопходан услов за успешно формирање физичких појава.

4.3. Лабораторијске вежбе

Радам у лабораторији ученици се оспособљавају да самостално врше експерименте ради провере и утврђивања знања с којим су се упознали у теорији, да на друге начине спознају теоријско знање, да га илуструју, итд. У исто време, ученици стичу техничка искуства и знања у раду са различитим апаратурама и инструментима. Јасно је да је за извођење ових експеримената неопходно имати одређену опрему, инструменте, као и упутства за рад.

Након што се експеримент изврши, ученици треба да среде резултате мерења и да на основу њих доносе закључке. Наставников посао је да провери исправност спровођења експеримента, добијених резултата и да провери да ли су добро формулисани закључци добијени рађењем лабораторијске вежбе.

По својој форми и садржају, можемо рећи да је за лабораторијски експеримент кључан практични рад ученика. Лабораторијске вежбе се првенствено користе за понављање, утврђивање и уопштавање знања. Раде се најчешће у школи, под „будним оком" наставника који надгледа цео процес.

Основни задатак ових вежби је да ученике наведе на самосталан рад, да им приближи решавање проблема практичним путем, као и да стекну додатна знања и вештине у циљу употпуњавања свеобухватног знања из дате области.

4.4. Мултимедијални експерименти у настави физике

У Србији су школски кабинети за физику веома скромно опремљени, а није редак случај да кабинети и не постоје. Ово се нарочито односи на средње школе у којима је акценат на стручним предметима. Позитивна ствар је што у већини школа ипак постоје бар по један преносиви рачунар и пројектор.

Ученицима је потребно што више демонстрирати појаве из природе експериментима на које се односи градиво, како би га што боље савладали. Треба имати у виду потребе и интересовања ученика, како би било лакше навести ученике да покушају преко физике да нађу смисао у примерима, из градива, који се налазе свуда око њих.

Поступак мерења у физици је драгоцено искуство за ученике које мултимедија савремене информације технологије не може у потпуности да замени. Но, наставник може да искористи све предности које оне заправо нуде. Реч „мултимедија” користимо када говоримо о садржајима и информацијама за чију перцепцију користимо више чула истовремено. Информацију представљају слика, текст, звук и покретне слике које нам дају богатију презентацију те информације. Информациона технологија поспешује процес учења тиме што омогућава више различитих извора од којих су само неки за подршку, интеракцију, симулације, анимације, реалистичне ситуације.

Симулација – Рачунар може да прикаже неку стварност уз одређене параметре и те параметре може мењати по жељи и анализирати резултате који су постигнути тим променама. Могу се симулирати од најједноставнијих процеса до неких сложенијих који се могу наћи код атомских реактора, хемијских појава, итд.

Видео демонстрација – Видео демонстрације помажу ученицима да сагледају односе између апстрактних анимација и стварних ситуација. Такође, обезбеђује велики број информација које су од значаја за препознавање објеката, места, итд.

Анимација – Анимација омогућава да ученици проучавају одвијање неког процеса које иначе не могу да проучавају датим околностима. На овај начин се истичу важни аспекти неких процеса и оно што се не може видети ученицима постаје видљиво. Идеална је за демонстрирање процеса рада машина и механизма. Анимирана секвенца се састоји од низа цртежа који се називају кадрови који се могу брзо мењати.

5. Молекулска теорија чврстих тела и течности

Молекулска физика је наука која проучава својства супстанце која су резултат њене молекуларне структуре. Према овој науци, све супстанције су изграђене од малих честица, као што су молекули, атоми, јони, а који се налазе у сталном хаотичном кретању. Молекулска теорија разматра, између осталог, макроскопска својства супстанција у различитим стањима, о чему ће и бити реч у наставку рада. Микроскопски процеси, интеракција између честица и њихова топлотна кретања, у молекулској физици објашњавају макроскопске особине супстанције.

Овај мастер рад биће посвећен молекулској теорији чврстих тела и течности, њиховим особинама, као и експериментима који те особине потврђују, проверавају и ближе објашњавају.

5.1. Молекулске силе

Код чврстих тела и течности, за разлику од гасова, честице су јако близу једна другој, што за последице има да на њихово кретање утучу међусобна деловања.

5.1.1. Особине молекулских сила

Да не постоји привлачна сила између молекула, молекули би се разлетели. Тела у чврстом и течном агрегатном стању нам указују на то. Тела са релативно већим густинама, као што су вода и течности, имају релативно мало растојање између молекула. Због тих сила тешко се мења запремина тела. Ако покушамо да променимо то средње растојање,

наилазимо на отпор. У случају истезања, привлачне међумолекулске силе спречавају да се то деси.

Такође, на отпор наилазимо и када покушамо да смањимо растојање између молекула. То нам показује да на веома малим растојањима између молекула делују јаке одбојне силе које спречавају смањење запремине тела. Закључујемо да постоји зависност молекулских сила од растојања између молекула.

Када постоји равнотежно растојање између молекула, као што је случај код чврстих тела и течности, то значи да су привлачне и одбојне силе између молекула изједначене. Ако је растојање мање од равнотежног, ради се о одбојним молекулским силама. Молекулске силе су привлачне ако су растојања већа од равнотежног, док је у случају великих растојања сила између молекула занемарљива.

График 1 нам показује својства молекулских сила. Када је растојање r_0 (растојање које је реда величине 10^{-10} m, мало веће од величине молекула), сила је једнака нули и то називамо равнотежним растојањем. Када је сила одбојна, значи да је растојање између молекула мање од равнотежног. Ако је растојање веће од равнотежног, ради се о привлачној сили. Уколико је растојање неколико пута веће од равнотежног, сила је занемарљива. Такве силе се зову силе кратког домета – молекули интерагују само са блиским суседним молекулима.

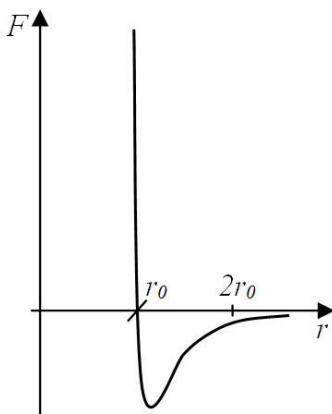


График 1. Зависност међумолекулске силе од растојања између молекула [12]

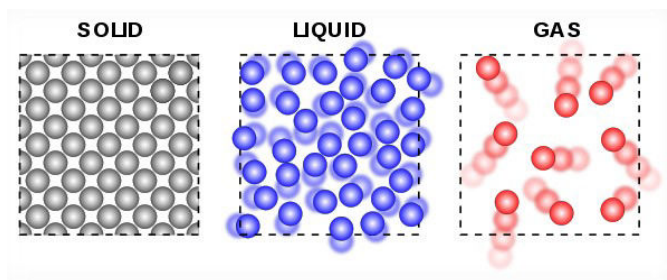
Промена агрегатног стања једне исте супстанције значи различит распоред молекула, њихово кретање и њихову међусобну интеракцију. Зато имамо различите особине у зависности да ли је у питању гасовито, течно или чврсто стање.

На нижим температурама супстанција је у чврстом стању, тада су кинетичке енергије топлотног кретања мале и нису довољне да надјачају привлачне силе између њих. Тада је њихово топлотно кретање заправо осцилација са малим амплитудама око равнотежних положаја. Када положај појединачних молекула остаје исти, имамо непромењен облик и запремину тела које је сачињено од таквих честица.

Ако се ради о високим температурама, супстанција је у гасном стању јер су тада кинетичке енергије топлотног кретања толике да су молекули савладали привлачне силе и удаљили се међусобно. Ако се молекули крећу хаотично, сударајући се међусобно док се не распореде у одређеном простору, реч је о гасовима. Они имају велика растојања између молекула, таква да су силе између њих занемарљиве.

По својој структури, течност је између гасовитог и чврстог агрегатног стања. Сваки молекул има своје кретање око равнотежног положаја, уз интеракцију са молекулима који га окружују. Кинетичка енергија топлотног кретања је таква да је могуће да се молекул одвоји и од суседних молекула и пређе у друго окружење, где би опет била у равнотежном положају. Прелазак из једног у друго окружење се одвија у разним правцима и смеровима па течности немају свој сталан облик, разливају се и заузимају облик суда у ком су. Запремина остаје непромењена јер су молекулске силе довољно јаке да не долази до промене средњег растојања између њих.

Приказ молекула у различитим агрегатним стањима је приказан на слици 1.



Слика 1. Молекули у чврстом, течном и гасном агрегатном стању (с лева на десно) [13]

5.2. Топлотно ширење чврстих тела

Топлота је један вид енергије који се може добијати из различитих физичких и хемијских процеса као што су: трење, протичање електричне енергије кроз проводник, различите хемијске реакције... То је величина која показује колико је хладан или топао неки објекат у поређењу са неким стандардом. Ако се неко тело додирне руком, може се рећи да ли је оно топло или хладно на основу поређења са топлотом нашег тела.

Раније се сматрало да је топлота невидљиви флуид без тежине, назван калориком, који се провођењем могао пренети са једног тела на друго. У 18. и 19. веку дошло је до напуштања ове теорије, највише захваљујући, између осталог, Џулу (James Prescott Joule, 1818 - 1889).

Џул је показао да се увек развија иста количина топлоте кад год се дата количина механичке енергије претвори у топлотну и тада је коначно била утврђена еквиваленција топлоте и рада као двају облика енергије.

Ако се два тела различитих температура ставе једно поред другог долази до преноса енергије са једног тела на друго, све док им се температуре не изједначе. Топлота се мери у џулима.

5.2.1. Линеарно ширење чврстих тела

Огледи попут затегнуте жице која се криви када се загрева, ситуације попут жица далековаода, које су у већој мери опуштене на врућинама у току лета и слично, показују нам да је дошло до промене димензија при промени температуре.

Релативна промена дужине чврстог тела при загревању линеарно је сразмерна промени температуре:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta t \quad (1)$$

У овој формули, l је дужина пре загревања, Δl је промена дужине при промени температуре за Δt . α је коефицијент сразмерности, такозвани термички коефицијент линеарног ширења. То је вредност која је карактеристична са супстанцију од које је неко тело направљено.

Јединица за коефицијент линеарног ширења је 1 K^{-1} или 1°C^{-1} .

Термички коефицијент ширења за све супстанције има малу бројну вредност, односно промена дужине при загревању је далеко мање од саме дужине ($\Delta l \ll l$).

Из полазне формуле се може извести формула којом се приказује зависност дужине од температуре.

Ако је l_0 дужина тела на $t_0 = 0^\circ \text{C}$, а дужина на температури t је l , онда је $\Delta t = t - t_0 = t$ и $\Delta l = l - l_0$, па важи:

$$\frac{l - l_0}{l_0} = \alpha \cdot \Delta t \quad (2)$$

$$\frac{l - l_0}{l_0} = \alpha \cdot t \quad (3)$$

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \quad (4)$$

5.2.2. Запреминско ширење чврстих тела

Када тело има облик шипке, шине, танке цеви, када је једна димензија тела много већа од друге две, тада говоримо о линеарном ширењу чврстог тела. Запреминско топлотно ширење је карактеристично за тела код којих су све три димензије тела истог реда величине. Онда се све оне једнако мењају када се тело загрева.

Пример запреминског топлотног ширења је куглица која пролази кроз прстен на собној температури, а не може да прође ако је загрејана. Такође стаклени чеп који се извуче из боце ако се охлади ледом.

Релативна промена запремине је сразмерна промени температуре:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \cdot \Delta t \quad (5)$$

Термички коефицијент запреминског ширења (коефицијент β) је карактеристика супстанције од које је тело направљено. Јединица коефицијента ширења је 1 K^{-1} .

Запреминска зависност од температуре се приказује следећом формулом:

$$V = V_0(1 + \beta \cdot \Delta t) \quad (6)$$

Запремина тела на 0°C је V_0 , а V запремина на $t [^\circ \text{C}]$.

5.2.3. Веза коефицијента запреминског и линеарног топлотног ширења

Постоји однос коефицијената запреминског и линеарног топлотног ширења и он се може пронаћи на следећи начин. Нека је коцка направљена од одређеног материјала. Када је температуре 0°C , l_0 представља дужину коцке, а запремина те коцке је $V_0 = l_0^3$. Када је температура t , дужина ивице коцке и запремина коцке су изражени формулама:

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot t); \quad V = V_0(1 + \beta \cdot t). \quad (7)$$

Пошто је $V = l^3$, из тога следи:

$$V = V_0(1 + \beta \cdot t) = l_0^3(1 + \alpha \cdot t)^3. \quad (8)$$

Односно,

$$V_0(1 + \beta \cdot t) = V_0(1 + \alpha \cdot t)^3; \quad (9)$$

$$\text{Тј.} \quad 1 + \beta \cdot t = 1 + 3\alpha \cdot t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3. \quad (10)$$

Коефицијенти линеарног и запреминског ширења су малих бројних вредности, реда величине $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, а формуле за линеарно и запреминско ширење важе уколико температуре t немају велике вредности. Чланови $3\alpha^2 t^2$ и $\alpha^3 t^3$ су много мањи од $3\alpha \cdot t$ па се у целом збиру могу занемарити. Због тога се формула (10) своди на:

$$\beta \cdot t \approx 3\alpha \cdot t, \quad tj. \quad \beta = 3\alpha \quad (11)$$

5.2.4. Површинско ширење

О површинском ширењу се може говорити уколико тело има облик лима, фолије, плоче (када је једна димензија много мања од друге две).

Промене димензија приликом загревања нису велике, али нису ни занемарљиве у неким случајевима. Градитељи воде рачуна о зависности димензија од температуре. При постављању шина се остављају процепи који дозвољавају издужење шина током лета и високих температура (да тих процепа нема, пруга би се искривила и воз би могао "излетети" из шина).

Било је случајева да се челични делови моста, монтирани дању, распадне ноћу, када падне температура: скупљајући се, гвожђе чупа многобројне закивке и конструкција се руши. Да се то не би десило, конструктори морају на неки начин обезбедити слободно ширење и скупљање појединих делова моста.

5.3. Топлотно ширење течности

Течности се скупљају при хлађењу и шире при загревању. Примери за то су стаклена боца која је отворена и до врха напуњена уљем. Када се оваква боца остави поред топлотног извора, уље ће испурити из исте. Мерење температуре термометрима је засновано на принципу ширење течности на повишеној температури.

Течност се шири у свим правцима подједнако, тако да се овде може говорити само о запреминском ширењу. За њега важе исте формуле као и за запреминско ширење чврстих тела (5):

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \cdot \Delta t ; \quad (12)$$

$$V = V_0(1 + \beta \cdot t). \quad (13)$$

Вредности термичког коефицијента ширења код течности су веће него код чврстих тела. Када говоримо о термометру, стакло из термометра се такође шири при повишеној температури, али се алкохол у каналу подиже јер се више шири од стакла.

О топлотном ширењу течности и односу коефицијената ширења течности и чврстих тела мора се водити рачуна у неким практичним ситуацијама, па чак и у свакодневним ситуацијама. Рецимо, затворене посуде за загревање течности не смеју се потпуно напунити течношћу јер ће при загревању пући. Такође, врућа течност мора се пажљиво сипати у хладну посуду да се ова не би распрсла. Када се, рецимо, врео чај сипа у хладну чашу, врућа вода је најпре у контакту са унутрашњим деловима стакла и они се шире, док су спољашњи још увек хладни и не шире се. Зато стакло пуца.

5.3.1. Мењање густине при загревању

Како се при загревању повећава запремина тела, јасно је да се густина смањује.

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}. \quad (14)$$

Узимајући у обзир формулу (14), густину при температури t ћемо добити према формули (15):

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0(1+\beta \cdot t)}. \quad (15)$$

Дакле, густина се мења при загревању по законитости:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1+\beta \cdot t}. \quad (16)$$

5.4. Микроскопско тумачење топлотног ширења

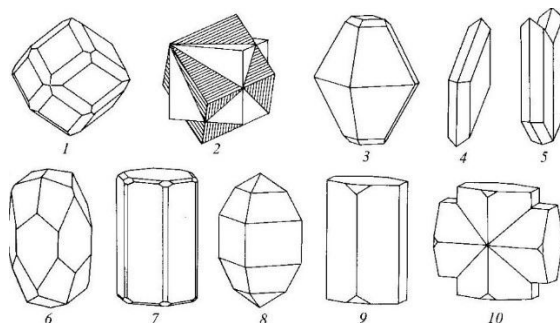
Појава топлотног ширења објашњава се структуром супстанције и топлотним кретањем молекула: при повећању температуре, молекули течности и чврстих тела се брже крећу (осцилују) и више се удаљавају од својих равнотежних положаја. На тај начин повећавају се средња растојања између молекула, а самим тим се повећавају и димензије целог тела.

6. Особине чврстих тела

Чврста тела се у природи срећу у кристалном (дијамант, шећер, лед..) или у аморфном стању (стакло, пластика, восак...). Према својој унутрашњој структури аморфна тела имају више сличности са течностима него са кристалима. Управо због тога физичари сматрају да је кристално стање право чврсто стање супстанције, док су аморфна тела заправо прехлађене течности.

6.1. Основне особине кристалног стања

Обичним посматрањем уочава се јако битна одлика кристала, а то је да имају правилан полиедарски облик. Олика сваког полиедра је да има одређен број страна (пљосни), ивица и темена (рогљева). Не мора значити да су кристали исте супстанције исте величине, али сви имају једнаке углове између одговарајућих пљосни и одговарајућих ивица.(Слика 2)



Слика 2. Карактеристични полиедарски облици неких кристала [14]

Дакле, правилан, симетрични облик је једна од одлика кристала. Такође, битна разлика између течности с једне стране, и гасова и течности са друге стране је то што кристали поседују анизотропију а то је појава да су физичка својства супстанције различита у разним правцима кристала. Та физичка својства могу бити на пример тврдоћа кристала у разним правцима, еластичност, или топлотна и електрична проводљивост.

6.2. Монокристали и поликристали

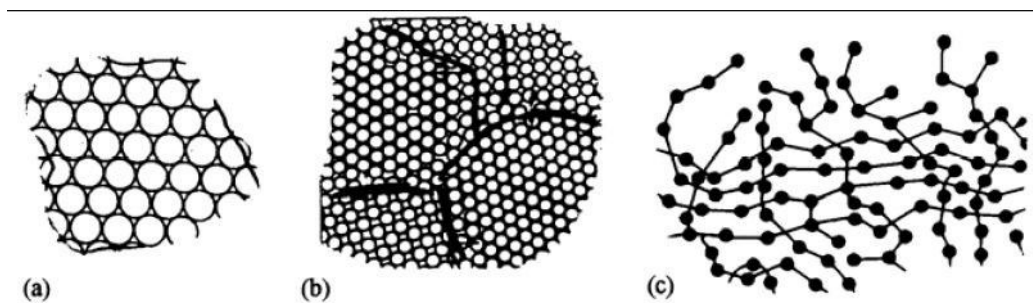
Кристал који има правилан облик и одликује се анизотропијом, назива се монокристал. Ови се кристали могу наћи у природи, али се могу производити и вештачки врло једноставно. Рецимо, када се у засићени раствор кухињске соли стави комадић кристала соли тако да је окачен за конач. На том комадићу нарашће већи кристал. Ако су

контролисани услови раста (без потреса, промене температуре, упадања прашине и слично) на концу ће се појавити монокристал.

Чешћи је случај да се наиђе на кристале код којих се не може лако или уопште уочити анизотропија. Код њих су у свим правцима физичке особине кристала исте. Овакве особине имају камен, песак, метали, итд.

Поликристали су изотропни кристали. Зрнасте су структуре и изграђени су од великог броја монокристала. Могу се добити, на пример, остављањем растопа да се хлади без контролисања услова. Добијена зрна поликристала су неправилног облика јер су се при расту измешали суседни кристалићи. Свако зрнце је монокристал, али су осе зрнаца различито оријентисане. Пошто постоји огроман број зрнаца у макроскопском узорку кристала, сви правци оса равноправно су заступљени, па кажемо да је кристал изотропан.

Кристалне структуре монокристала, поликристала и аморфног кристала приказане су на Слици 3.

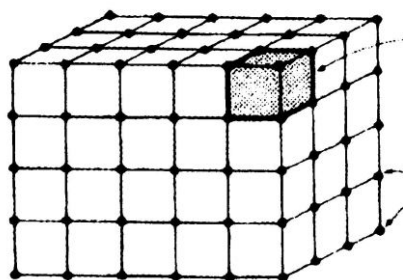


Слика 3. Структура монокристала, поликристала и аморфног кристала [22]

6.3. Унутрашња структура кристала. Кристална решетка

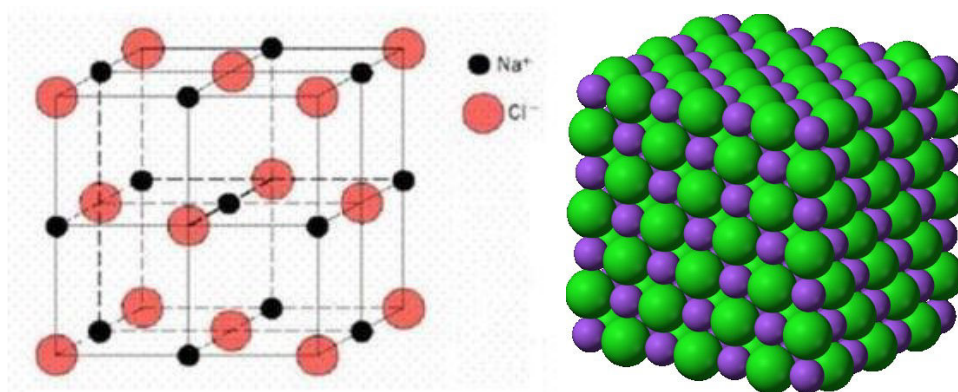
Као последица унутрашње структуре кристала долази до анизотропије али и правилног геометријског облика кристала.

Експериментално је показују да кристали имају структуру просторне решетке, тј. да су честице (атоми, молекули или јони) распоређене у чворовима замишљене, правилне, и симетричне тродимензионалне решетке. Свака оваква решетка је изграђена од бесконачно много једнаких структурних елемената правилног (полиедарског) облика и један такав елемент назива се ћелија кристалне решетке. Уколико транслаторно померамо ћелије у сва три правца можемо покрити и целу решетку. (Слика 4)



Слика 4. Кристала решетка са означеном ћелијом кристалне решетке [22]

На слици 5а приказана је кристална решетка кухињске соли која је изграђена од коцки у чијим су теменима наизменично распоређени позитивни јони натријума и негативни јони хлора. Куглице у чворовима означавају атоме (јоне, молекуле), а линије којима су куглице спојене симболишу силе које делују између тих честица. Реално растојање између честица у кристалу много је мање од приказаног на кристалној решетки. Модел кристала NaCl се може ближе приказати и као кристална структура у којој су јони соли густо паковани и нема раздвајања молекула. (Слика 5.б))



Слика 5. а) Кристална решетка кухињске соли (NaCl) [15]; б) Реалнији приказ кристалне решетке кухињске соли (јони натријума означени љубичастом бојом, јони хлора зеленом) [23]

Пошто су честице кристала правилно распоређене у простору, и цео кристал има правилан облик. Низови честица натријума и хлора нису исти у сваком правцу, па нису једнаке ни молекулске силе које делују између честица у разним правцима. Ово је још један показатељ анизотропије пошто у различитим правцима силе не делују на исти начин.

Само идеални кристали би имали идеално правилну решетку. А такви кристали не постоје нити се вештачки могу произвести. Код реалних кристала постоје итекако одступања од идеалне структуре, а та одступања се називају дефекти. Присуство ових дефеката може значајно да измени особине кристала. То могу, на пример, бити разне шупљине које смањује тврдоћу кристала.

Могућа је појава да се супстанција појави у два или више кристалних облика, и та појава се зове полиморфизам. Дobar пример је угљеник и његови кристални облици - графит и дијамант, који иако су изграђени од истих честица имају другачије особине. Познато је да је дијамант један од најтврђих кристала што је резултат јаких сила којима су везани његови атоми. Графит је, са друге стране, мек, јер су му атоми распоређени у слојевима који веома лако клизе један преко другог. Услед овога кроз су и другачије примене ова два облика угљеника. Дијамант је добар електрични изолатор, док графит проводи струју. Још једна разлика се огледа у томе што је дијамант прозачан, а графит јако апсорбује светлост.

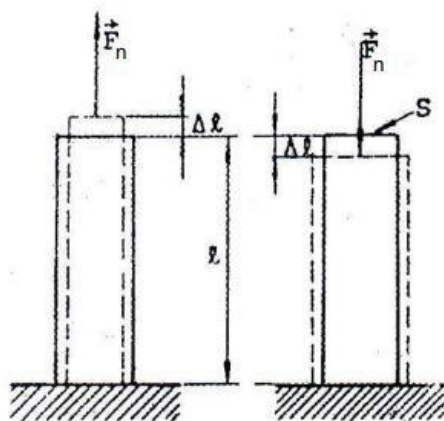
6.4. Еластичне деформације

Чврста тела су сталне запремине и сталног облика све док се спољашњи услови не промене, а то су температура и притисак. Промена облика или запремине тела назива се деформација.

По престанку деловања силе која доводи до деформације, тело се може вратити у првобитни облик, али то и не мора бити случај. Деформације које нестају након престанка деловања силе зову се еластичне деформације, а оне које остају и након деловања силе називамо пластичним деформацијама.

У природи не постоје идеално еластична тела, код сваког остају макар минималне деформације, а када кажемо еластична тела, мислимо на тела код којих су такве деформације занемарљиве. Могуће је да се једно исто тело при деловању слабијих сила понаша као еластично, док се при деловању јачих сила понаша као нееластично.

Деформације се могу поделити на просте и сложене. Под просте деформацијама подразумевамо истезање (или сабијање) и смицање. До истезања и сабијања долази када на тело делује сила нормално на неку од површина. Силе које доводе до сабијања и истезања могу деловати у супротним смеровима, па на сабијање можемо гледати као на негативно истезање (а не посебна врста деформације). Приликом истезања долази до повећања димензија тела у правцу деловања силе. Ту димензију која се повећа приликом истезања називамо дужина. У случају сабијања тела, дужина тела се смањује. На слици 6 је приказан изглед тела након истезања, односно сабијања.



Слика 6. Истезање и сабијање тела [19]

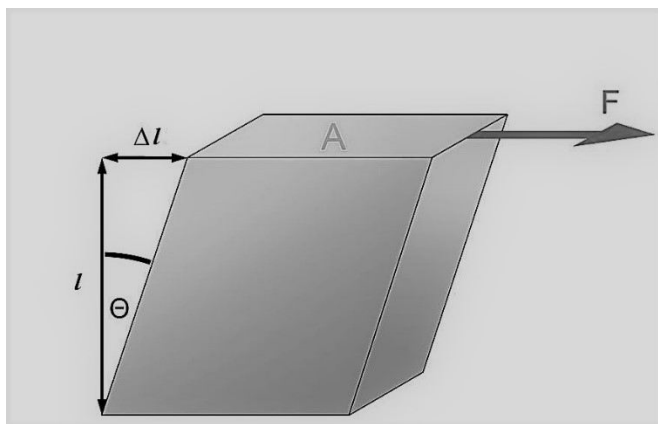
Истезање и сабијање се квантитативно може описати формулом (17) за релативну промену дужине:

$$\delta_1 = \frac{\Delta l}{l}; \quad (17)$$

(код истезања је $\delta_1 > 0$, а код сабијања $\delta_1 < 0$).

Иако се при истезању и сабијању мењају и попречне димензије тела, ове промене су ипак знатно мање од уздужних па их нећемо ни узимати у обзир.

Што се смицања тиче, њега изазивају силе које делују у правцу тангента на неку површину тела. У овом случају углови између појединих површина тела су ти који се мењају, док се запремина не мења. (Слика 7) Квантитативно се смицање карактерише углом смицања (θ).

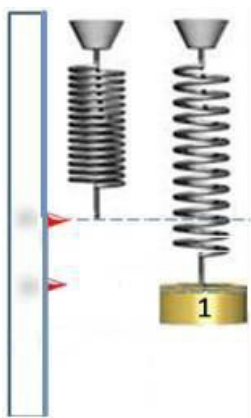


Слика 7. Смицање [19]

Деформација савијања се састоји од истезања и сабијања, пошто је на једном делу тело изложено истезању, а на другом сабијању.

6.5. Хуков закон

Уколико узмемо да истежемо неки штап или жицу, јачу деформацију ћемо добити уколико је већа сила која изазива деформацију. Тачније, онда када је сила која изазива деформацију већа, већа је и промена дужине датог предмета. Сила се може повећати уколико се на обешену жицу окаче тегови. (Слика 8) Хук је у 17. веку утврдио да важи законитост да је промена дужине тела у директној вези са силом која доводи до истезања, и то у случају малих деформација.



Слика 8. Хуков закон [21]

Хуков закон говори да је промена дужине тела сразмерна сили која доводи до истезања, што се може представити формулом:

$$F = k \cdot \Delta l. \quad (18)$$

Из које се види физички смисао коефицијента еластичности, тј. следи да је:

$$k = \frac{F}{\Delta l}. \quad (19)$$

Коефицијент еластичности бројно је једнак сили потребној да издужи неко тело, тј. да доведе до јединичне промене дужине тела.

Јединица за коефицијент еластичности је $\frac{N}{m}$.

Овај коефицијент зависи од материјала од којег је направљено тело и већи је за метале него за дрво или бетон. Исто тако, он зависи и од димензија тела. Постоје мерења која показују да се, рецимо, два штапа од истог материјала који су различитих димензија,

када се доведу у ситуацију да на њих делује иста сила не деформишу на исти начин. Штап се више истегне (или сабије) уколико је дужи, и уколико је тањи.

Ову појава је у оквиру Хуковог закона можемо увести кроз тврђење:

Промена дужине тела при истезању је сразмерна сили која изазива деформацију и дужини тела, а обрнуто сразмерна површини попречног пресека на који делује сила; и може се записати путем формуле:

$$\Delta l = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S} \cdot l . \quad (20)$$

У формули (20), l је дужина тела пре деформисања, а S површина попречног пресека тела на који делује сила. Коефицијент E зове се Јангов модул еластичности, и то је карактеристика материјала од којег је тело направљено. Јангов модул нам у великој мери може помоћи при одређивању деформације тела, с обзиром да се тела која имају већу вредност Јанговог модула еластичности више супротстављају истезању и сабијању.

Мерна јединица за Јангов модул еластичности је $1 \frac{N}{m^2}$

У формули (20) посебно је издвојен количник чланова $\frac{F}{S}$. Пошто они чине посебну физичку величину која се назива нормални напон. Нормални напон је једнак количнику силе F која делује нормално на попречни пресек тела и површине управо тог попречног пресека. Нормални напон се може формулисати на следећи начин:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (21)$$

Јединица за нормални напон је $1 \frac{N}{m^2}$

Помоћу увођења појма нормалног напона, могуће је извести још један облик Хуковог закона који је дати следећом формулом:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \sigma \quad (22)$$

$$\delta_1 = \frac{\sigma}{E} \quad (23)$$

Можемо рећи да је релативна промена дужине тела при истезању сразмерна нормалном напону. Ова директна сразмерност постоји само у случају малих деформација, док је у случају већих деформација зависност релативне промене дужине од нормалног напона доста сложенија.

За сваки материјал карактеристичне су две вредности нормалног напона, и то - граница еластичности и напон кидања. Максимални напон (σ_e) при којем је деформација еластична назива се граница еластичности. Нормални напон у телу се може повећавати до одређене границе, а након тога долази до кидања тела. Уколико неки материјал под великом силом издужујемо, доћи ће и до јаког сужавања, па ће се на неком месту тело прекинути, односно пући ће.

6.6. Деформације и молекулске силе

Услед истезања или сабијања тела деловањем неке спољашње силе повећавају се или смањују растојања између молекула. Услед тога између молекула делују силе, и то тако да су у истегнутом телу међумолекулске силе привлачне, а у сабијеном телу одбојне. Управо због ових унутрашњих, међумолекулских сила, тело се под дејством спољашње силе истегне или сабије само за неку одређену вредност. Постоји равнотежа између деловања сила које доводе до истезања или сабијања, и унутрашњих сила. Укупно деловање међумолекулских сила се манифестује силом коју називамо, управо, еластична сила.

Могуће је објаснити и еластичне и пластичне деформације помоћу деловања међумолекулских сила. Под дејством спољашње силе мења се растојање између молекула. Код еластичних деформација, након престанка деловања спољашње силе, међумолекулске силе унутар тела су довољно јаке да врате молекуле у првобитне равнотежне положаје, тј. тело се враћа на своју „нормалну” дужину. Код других супстаниција међумолекулске силе не могу да врате молекуле у првобитне положаје и зато деформација остаје и после деловања спољашње силе. Ово је случај са пластичним деформацијама.

7. Особине течности

По својој унутрашњој структури, течности се налазе између гасова и кристала. Код течности, као и у случају кристала, молекули су густо паковани. То знамо на основу чињенице да су густине одређене супстанце када се налази у чврстом и течном стању приближно једнаке. Познато је и да је код воде чак случај да има већу густину када је у течном, него када је у чврстом стању.

Када бисмо тражили аналогiju течности са гасовима, то би се огледало у чињеници да течност, као и гас, поседује изотропију. Из овога се закључује да молекули течности не поседују уређени распоред. Код кристала то је случај – распоред молекула у супстанцији је правилан. Ипак, уређеност је до неке мере присутна и код течности. Тачније, уређеност распореда честица унутар течности присутна је само на малим растојањима.

Још једна битна разлика између течности и чврстог стања огледа се у томе што у кристал свака честица има исте прве суседе, друге, треће и тако даље, док код течности ово не важи. У случају течности одржава се једино број првих суседа, али ни то не морају бити исти молекули. Ово окружење молекула течности суседима се стално нарушава услед топлотног кретања – један молекул се удаљи, други дође на његово место итд.

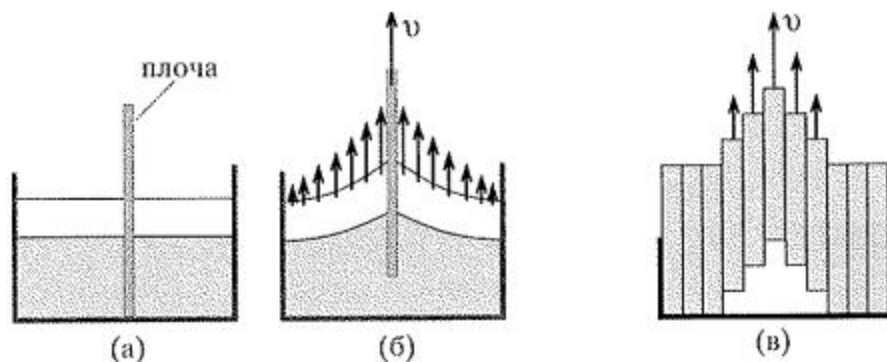


Слика 9. Покретни „гроздови“ молекула присутни код течности [22]

Структура течности се сликовито може приказати као што је приказано на слици 9. Течност се састоји из покретних тзв. гроздова који се распадају и обнављају. Услед деловања међумолекулских сила честице које се налазе у овим гроздовима осцилују око равнотежног положаја, али исто тако због топлотног кретања молекули прелазе на суседне гроздове. Када је температура ниска у гроздовима је велики број молекула који су густо паковани, па се може рећи да је присутна уређеност на малим растојањима. Када температура расте, топлотно кретање молекула је све учесталије и интензивније, па су и гроздови мањи. Када се постигне температура кључања свака уређеност ишчезава.

7.1. Вискозност

Два суседна слоја у течности која мирује делују силама притиска један на други. Те силе су у правцу нормале на додирну површину. Уколико се течност креће, долази до испољавања и тангенцијалних сила између слојева. Један примера оваквих појава је оглед где се у стаклену цилиндричну посуду сипа обојени глицерин, а изнад обојеног се сипа слој безбојног глицерина. Вертикална стаклена плоча се постави у средину посуде. Када се плоча извлачи из течности, види се да долази до искривљења граничне површине између глицерина који је обојен и безбојног глицерина (слика 10 под а) и б)). Плоча повлачи и глицерин да се креће, и то тако да слојеви глицерина који су уз плочу имају исту брзину као и плоча коју повлачимо, док је брзина осталих слојева све мања што је удаљенија од плоче. Слојеви уз зидове се не крећу.



Слика 10. Пример за вискозност течности – посуда са обојеним и безбојним глицерином [1]

Слична појава се дешава и када у некој кутији имамо густо паковане плоче од чврстог материјала. Када извлачимо једну плочу из средине, покрене се и неколико суседних плоча, али њихова брзина је све мања како је која плоча даље од оне коју вучемо. (слика 10 под в)) Плоча из средине се креће зато што на њу делујемо неком спољашњом силом, а кретање суседних плоча се дешава због силе трења између додирних површина плоча.

Дакле, плоча коју вучемо делује тангенцијалним силама на слојеве глицерина који је додирују, затим се деловање тангенцијалних сила преноси са слоја на слој и зато долази до кретања течности. Тешко је постићи да се при извлачењу једне плоче све плоче крећу различитим брзинама. Због деловања силе трења мировања, неколико крајњих плоча се и не помере, али се по две три плоче покрену истом брзином. У течности не постоји статичко трење.



Слика 11. Глицерин у цеви са славином [1]

Ако у неку цев која има славину сипамо обојени глицерин, а изнад њега, при врху, сипамо безбојни глицерин, и када отворимо славину при дну цеви, приметићемо да глицерин у горњем делу цеви има облик купе. (Слика 11) То нам указује на најбрже кретање средишњег слоја глицерина, док се остали слојеви крећу спорије. Слој глицерина тик уз зидове цеви се уопште не креће – као да је залепљен уз зид.

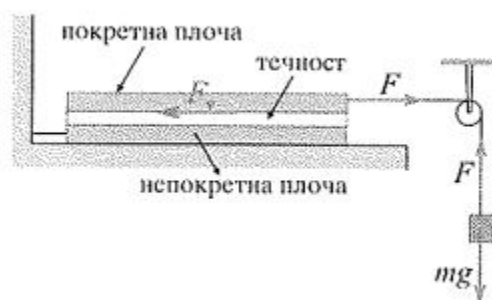
Он делује тангенцијалним силама трења на слој који је уз њега и тиме га успорава, док тај слој такође делује тангенцијалном силом на слој до њега.

Вискозне силе или унутрашње силе трења су тангенцијалне силе које делују између слојева течности.

Код гасова, ове силе су знатно слабије него код течности.

7.1.1. Њутнов закон вискозности

Исак Њутн се бавио појавом вискозности. Он је поставио две плоче, где је доња непокретна, а горња се креће. Између ова два слоја, постављен је слој течности. Горња плоча је повезана са тегом и конопцем као на слици 12. На плочу делује сила затезања F . Плоча и тег се при одређеној вредности силе крећу истим брзинама V , а експерименти показују да се и течност између плоча креће. Креће се тако што се паралелно у односу на плочу образују слојеви који се крећу различитим брзинама.



Слика 12. Њутнов експеримент испитивања вискозности [1]

Брзина по слојевима се може приказати на начин као што је то учињено на слици 13, где слој уз плочу има брзину као и плоча, док се слој који је уз непокретну плочу не креће уопште. Између та два слоја имамо равномерну расподелу брзине.



Слика 13. Приказ понашања плоча и течности код Њутновог експеримента [1]

Овде није реч о конкретно дефинисаним слојевима, није у питању целина која се може посматрати одвојено од осталих целина. Рецимо да један слој чине сви делићи течности који имају исту брзину усмереног кретања. Два слоја која су на јако малим растојањима имају безначајно малу разлику у брзини.

Стална брзина горње плоче значи да је резултујућа сила која на њу делује једнака нули. Течност делује на плочу силом трења F_v која има интензитет идентичан као и сила F . Сила трења је супротног смера од силе F .

Исто толике силе вискозности делују и између било која два суседна слоја течности. Ове силе настоје да успоре слој који је веће брзине, а да убрзају слој који се креће спорије. С обзиром да је $F_v = F$, мерење силе унутрашњег трења се своди на мерење спољашње силе којом треба деловати на горњу плочу да бисмо имали њено равномерно кретање.

Сила вискозности зависи од брзине V којом се плоча креће, дебљине течне опне d , додирне површине плоче и течности S , као и од врсте течности. Њутнов закон вискозности нам показује ту зависност преко формуле:

$$F_v = \eta \cdot S \cdot \frac{V}{d} \quad (24)$$

η (ни) је величина која се назива коефицијент вискозности и она је карактеристика течности.

Мерна јединица за коефицијент вискозности се изводи из Њутновог закона вискозности и износи $[1 \text{ Pa} \cdot \text{s}]$. Течности имају различите коефицијенте вискозности и ова вредност коефицијанта се смањује при загревању.

Сплав се лако покреће на води која мирује јер нема трења који се супротставља томе. Али, уколико желимо да извучемо сплав на обалу, неопходно је савладати статичко трење између сплава и чврстог тла. Код чврстих тела је механизам трења другачији, јер се једно тело може покренути преко другог само ако се повуче силом која је довољно јака (јачом силом уколико неравнине једног тела више задиру у неравнине другог тела, односно уколико су храпавије додирне површине тела у контакту)

Постоје летња и зимска уља, јер коефицијент вискозности зависи од температуре. Уље не делује једнако ефикасно и на високим и на ниским температурама.

Микроскопско становиште објашњава вискозност преласком молекула из једног слоја у други, суседни слој. Тада молекули преносе импулс у суседни слој и повлаче њега да се креће.

7.1.2. Сила отпора. Стоксов закон

Сила отпора делује на тело које се креће кроз течност или кроз гас. Та сила има исти правац као брзина, али супротни смер. Интензитет силе зависи од вискозности течности, и од облика и димензије тела. Такође зависи од чеоног пресека самог тела као и брзине којом се тело креће. Сила отпора је сразмерна брзини при мањим брзинама, а ако су брзине велике једнака је квадрату брзине.

Сила отпора којом течност делује на сферно тело када се оно креће малом брзином је случај којим се може објаснити сила отпора. Слој течности се прилепи за чврсто тело и оно се креће заједно са њим и то доводи до слојевитог кретања течности у околини. У том случају, течност делује на тело тангенцијалним вискозним силама. Сила отпора је резултанта свих ових сила и усмерена је насупрот кретања тела.



Слика 14. Деловање силе вискозности (а) и силе отпора (б) слојева течности на сферно тело [1]

Интензитет силе отпора је одређен Стоксовим законом:

$$F_{ot} = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot V \quad (25)$$

η је коефицијент вискозности, док су полупречник и брзина сферног тела означени са r и V .

7.2. Површински напон

Молекул који се налази на самој површини течности и молекул који је на некој дубини, нису у равнотежном положају. На први молекул делују молекули течности око њега са резултантом која није једнака нули и има смер ка унутрашњости течности, као што је то показано на слици 15.



Слика 15. Површински напон [1]

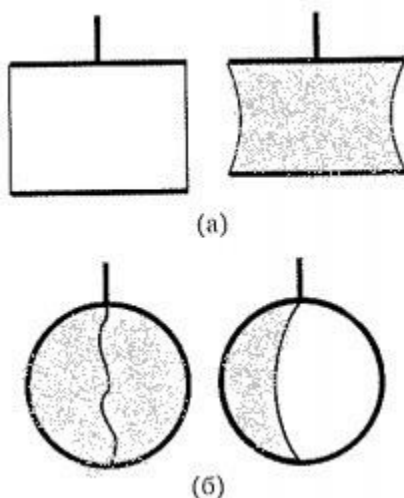
На молекул који је у унутрашњости делују други молекули са свих страна приближно симетрично, и њихова деловања се поништавају. Дакле резултанта је у овом случају нула. Да би молекул био на површини течности, неопходно је да се изврши рад против силе која делује у површинском слоју, што подразумева повећање потенцијалне енергије молекула.

Ако тело бацимо навише, оно се креће до неке висине уз извршен рад који је против силе теже. Када подижемо тело, долази до повећања његове потенцијалне енергије $E_p = mgh$.

Иста ствар важи и за течности. Долази до извршења рада против резултујуће молекулске силе када молекул прелази из унутрашњости на површину, па долази и до повећања његове потенцијалне енергије.

Површински слој течности располаже допунском потенцијалном енергијом.

У природи имамо тежњу система за најмањом потенцијалном енергијом. Течност тежи да има што мању слободну површину, и због тога њени молекули прелазе са површине у унутрашњост.



Слика 16. Оглед који доказује природну тежњу течности да смањи слободну површину [1]

На слици 16 под а) је приказан оглед којим се демонстрира тежња течности да смањи своју слободну површину. Уколико направимо правоугаони рам, где су две паралелне странице направљене од жице, а друге две су од конца, при утапању оваквог правоугаоника у сапуницу и вађењем истог, тело више неће бити правоугаоног облика. Опна сапунице ће повући конце и они ће бити искривљени ка унутрашњости опне.

Ако жичани прстен са концем утопимо у сапуницу (слика 16 под б)), након вађења из ње, конач ће бити крив и лабав. Уколико пробијемо опну са једне стране конца, конач ће да се затегне јер преостали део опне тежи ка смањењу своје површине.

Када се промени слободна површина течности, мења се и енергија површинског слоја. До колике промене ће доћи, зависи од природе течности. Коефицијент површинског напона (γ) је величина којом се описује ова карактеристика течности.

Коефицијент површинског напона бројно је једнак промени енергије површинског слоја течности при јединичној промени слободне површине.

$$\gamma = \frac{\Delta W}{\Delta S} \quad (26)$$

У овој формули, ΔW је промена енергије површинског слоја течности при промени површине ΔS .

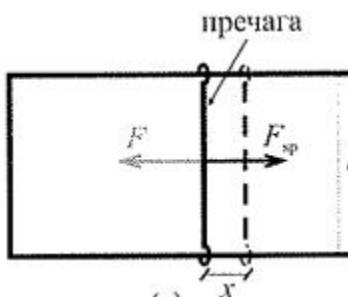
Мерна јединица коефицијента површинског напона је $1 \frac{N}{m}$.

До промена коефицијента површинског напона течности долази услед убацивања неких примеса. Када се растори сапуница у води, коефицијент површинског напона се смањи, док до повећања долази ако се раствори кухињска со у води.

7.2.1. Сила површинског напона

Свака течност тежи да има минималну слободну површину и та тежња се испољава деловањем површинског напона.

На слици 17 видимо правоугани жичани рам, чија је једна страница покретна и чија је дужина l . На оваквом раму је формирана опна од сапунице. При деловању спољашње силе, покретни део се може померити и при томе ће се повећати слободна површина опне. Сила F која се јавља и супротног је смера од спољашње силе је сила којом се течност супротставља повећању слободне површине. При лаганом померању, ове две силе имају исте интензитете.



Слика 17. Сила површинског напона [1]

Ако се пречага помери за одређено x растојање, $\Delta S = 2 \cdot l \cdot x$ је промена слободне површине течности. Фактор 2 фигурише јер опна има две слободне површине. (Слика 18)



Слика 18. Опна са својим слободним површинама [1]

Промена потенцијалне енергије површинског слоја се догодила на рачун рада који је извршила спољашња сила:

$$A_{sp} = \Delta W; \quad \text{тј.} \quad F_{sp} \cdot x = \Delta W; \quad \text{односно: } F_x = \Delta W \quad (27)$$

Узимајући ово у обзир и формулу (26), следи:

$$F_x = \gamma \cdot \Delta S; \quad \text{тј.} \quad F_x = \gamma \cdot 2lx; \quad \text{односно: } F = \gamma \cdot 2l \quad (28)$$

Сила F је сила којом обе површине опне делују на пречагу, па се може доћи до закључка да на свака од површина опне делује силом :

$$F = \gamma \cdot l \quad (29)$$

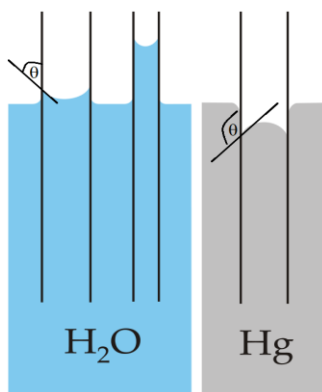
У питању је сила површинског напона. Она делује тангенцијално на површину опне, а нормално на пречагу којом је ограничена та површина.

Силе површинског напона делују на сваки делић линије којом је ограничена слободна површина течности. У свакој тачки правац силе је нормалан на ту граничну линију и тангентан на површину течности, а смер је према унутрашњости контуре.

Формула 29 представља формулу за одређивање интензитета површинског напона који делује на контуру чија је дужина l .

7.3. Капиларне појаве

Када ставимо кап воде на чисто стакло, долази до разливања капи док се не формира танак слој. Исто ће се десити и на другим материјалима попут хартије или дрвета. Уколико се вода стави на површину која је масна, неће доћи до разливања. Кап живе се неће разлити ни по стаклу ни по дрвету. Посматрајући воду у стакленом суду, може се приметити да се вода подигла уз ивице суда, за разлику од живе која се спусти низ зид суда. (Слика 19)



Слика 19. Капиларне појаве код воде (лево) и живе (десно) [23]

Угао између тангенте на површину течности и површине тврдог тела са којом се течност додирује, називамо углом квашења θ . У случају да је угао оштар, течност кваси тело, док ако је угао туп, течност не кваси тело. (Слика 19)

Молекулске силе између молекула саме течности, као и силе између молекула течности (кохезионе силе) и молекула чврстог тела (адхезионе силе) нам указују на то да ли течност кваси или не кваси чврсто тело. Молекуле воде јаче привлаче молекули стакла него што се они привлаче међусобно, и зато се вода разлива по стаклу. При томе се повећава додирна површина течног и чврстог тела. У случају живе, имамо јаче силе између молекула живе него што је то случај са привлачењем између живе и стакла. Зато је додирна површина живе и стакла минимална могућа.

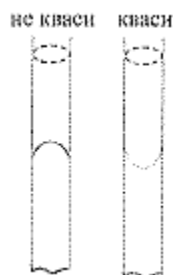
У случају јачих адхезионих сила у односу на кохезионе, течност кваси чврсто тело са којим дође у контакт. Ако су кохезионе силе јаче, неће доћи до квашења.

Чиста метална игла у води тоне јер је сила теже јача од силе потиска. У случају да ту иглу намажемо парафином или неком другом супстанцијом са особином да је вода не кваси, она може да плива ако је пажљиво ставимо на површину воде. У том случају сила површинског напона делује на иглу – навише. На том принципу је засновано и кретање инсеката по површини воде. (Слика 20)



Слика 20. Инсект хода по површини воде [24]

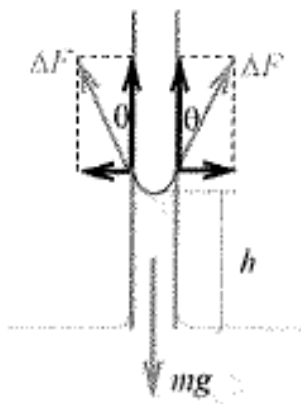
Када ставимо течност у суд који је широк, примећујемо подизање или спуштање уз зид суда, док је остали део површине раван. У случају танке цеви тај раван део практично не постоји. Та крива површина се назива мениск. Уколико цевчица има кружни попречни пресек, мениск је део сферне површине. Та сферна површина може бити испупчена односно конвексна при неквашењу, или удубљена (конкавна) при квашењу. (Слика 21)



Слика 21. Мениск [1]

Цевчице које имају мали унутрашњи пречник (1 mm или мање) се зову капилари. За њих је карактеристично одступање од закона спојених судова. Ако у такву цев ставимо течност која не кваси њену површину, ниво течности у цеви је испод нивоа течности у околини. Када течност кваси површину цеви, њен ниво у унутрашњости цеви је нешто виши у односу на ниво течности у околини.

Овакво понашање течности да се издигне или спусти је последица површинског напона. У случају да течност кваси цев, зидови цеви делују на површину течности силама површинског напона које су усмерене навише. Правац силе површинског напона у свакој тачки је тангенцијалан на површину мениска. На слици 22 је приказан пресек капиларе и равни цртежа. ΔF су силе које делују на два бесконачно мала делића додирне линије мениска и цеви. Вертикалне компоненте ових сила имају интензитете $\Delta F \cos \theta$ и истог су смера, па се сабирају. Хоризонталне компоненте се поништавају јер имају супротне смерове.



Слика 22. Приказ капиларе [1]

Укупна сила која је усмерена вертикално навише док делује на површину течности има интензитет:

$$F_{pn} = \gamma \cdot 2r\pi \cdot \cos\theta \quad (30)$$

У формули (30) r представља полупречник цевчице, $2r\pi$ је дужина додирне линије површине течности и зидова капиларе, $\cos\theta$ је ту да прикаже вертикалну компоненту силе.

Наниже на стубић течности у капилари делује сила теже која се у равнотежном стању приказује на следећи начин:

$$\gamma \cdot 2r\pi \cdot \cos\theta = mg; \quad 2r\pi \cdot \cos\theta = \rho Vg; \quad 2r\pi \cdot \cos\theta = \rho \cdot r^2\pi h \cdot g \quad (31)$$

Одавде се добија формула за висину издизања течности у капилари кружног попречног пресека:

$$h = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho r g} \quad (32)$$

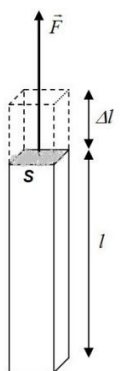
У случају да течност не кваси суд, усмерење силе површинског напона је наниже. Тада долази до спуштања течности у капилари. Из формуле (32) се може добити колико се течност спусти у капилари, тј. дубина до које се спусти. Вредност h је негативна јер је косинус угла који је туп мањи од 0. Негативан предзнак нам показује да је реч о спуштању течности у капилари, у односу на околину. Колико ће се течност подићи или спустити зависи од полупречника мениска.

Примери капиларних појава у природи су биљке које се хране растворима соли из земље. Танке капиларе у стаблу и грању достављају раствор до сваког листа. Капиларна појава је присутна и у земљишту. Подземне воде кроз капиларне површине доспевају на површину. Хигроскопни материјали (сунђер, кречњак, тканина, бетон итд.) имају капиларе у својој структури и кроз њих упијају воду.

8. Лабораторијске вежбе

8.1. Хуков закон истезања жице; Мерење модула еластичности

Предмет на којем се посматра деформација истезања је жица од еластичног материјала дужине l и попречног пресека S . (Слика 23)



Слика 23. Хуков закон [12]

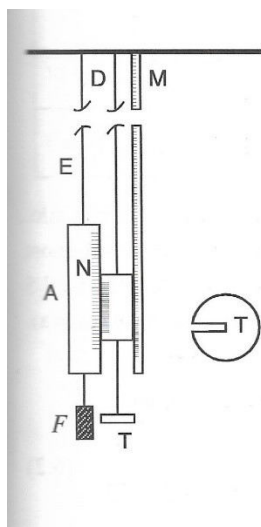
Жица је учврћена и непомицна на горњем крају. Када на доњи крај жице делујемо силом F , жица ће се издужити за величину Δl .

Хуков закон истезања жице:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l} \quad (33)$$

Овај закон показује да ће истезање жице бити веће ако је модул истезања материјала E мањи.

Код већине материјала релативна издужења су мала, па да би се могло измерити апсолутно издужење, мора се испитати дугачка жица D (око 2 m). Горњи крај жице је причвршћен, док је на доњем крају нониус. Део А нониуса је фиксиран за зид жицом Е исте врсте, да би се компензовале евентуалне промене дужине ако би се променила температура. Дуж жице је постављен челични метар за мерење дужине жице l . Жица Е је затегнута тегом F . За покретни део нониуса је причвршћена жица која се испитује, као и тас Т који је монтиран са друге стране. (Слика 24)



Слика 24. Уређај за мерење модула истезања [6]

На њега се стављају тегови за истезање жице. Мерење се врши тако што се прво жица која се истеже затегне једним тегом који се ставља на носач и прочита се положај на нониусу који се узима за нулти – као да жица није истегнута. Редом се затим додају тегови на тас и читају се одговарајући положаји нониуса. Разлика између нултог положаја нониуса и положаја нониуса при одговарајућем оптерећењу са силом F представља издужење за дату силу F .

Врши се 7 до 8 мерења тако што се додају тегови масе од по 1 kg . Положај нониуса при највећем оптерећењу се забележава као нулти и понавља се исти поступак мерења дужине жице, само се тада тегови скидају и жица се скраћује.

Апсолутна промена дужине жице за дато оптерећење се одређује као разлика новог нултог положаја за максимално оптерећену жицу и дужине жице за дато оптерећење. (Табела 1)

$l =$	m	$r =$	m	укупна промена дужине				$S =$
	повећање/смањење терета			при повећању оптерећења		при смањењу оптерећења		$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$
бр. мерења	$F\text{ [N]}$	$F\text{ [N]}$		пол. нон.	$\Delta l_1\text{ [m]}$	пол. нон.	$\Delta l_2\text{ [m]}$	$E\text{ [N/m}^2\text{]}$
1.								
2.								

Табела 1. Табела за унос података при рађењу вежбе Мерење модула истезања [6]

Скраћење жице мора бити исто као и издужење за исту промену силе. Узима се средња вредност издужења и скраћења жице за исто оптерећење као апсолутна вредност промене дужине жице.

Из Хуковог закона се може одредити модул еластичности:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l} \quad (34)$$

Вредност модула еластичности се добија као средња вредност извршених мерења. Промена дужине жице у функцији силе може се приказати и графички. На апсцису графика наносе се вредност издужења Δl , а на ординате силе F којом терет затеже жицу. По Хуковом закону добијене вредности треба да леже на једној правој, па се из нагиба те праве може одредити средња вредност модула еластичности.

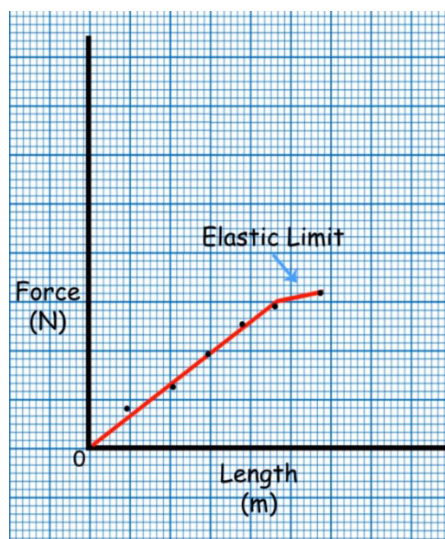


График 2. График зависности силе којом тело затеже опругу [18]

Задаци вежбе:

1. Измерити димензије жице (радијус и дужину) и одредити нулти положај нониуса.
2. Измерити издужење жице за различите силе истезања, како при повећању, тако и при смањењу оптерећења за промене силе од по 9.81 N.
3. Израчунати модул еластичности за сваку вредност силе и израчунати средњу квадратну грешку за индиректно мерење.
4. Одредити средњу вредност модула еластичности и средњу вредност грешке за индиректна мерења.

8.2. Методе мерења коефицијента вискозности

Одређивање и мерење коефицијента вискозности за разне супстанције има значаја у техници, науци, као и у свакодневном животу. Овде ће бити описана три типа вискозиметра:

- Оствалдов вискозиметар
- Хеплеров вискозиметар
- Капиларни вискозиметар

8.2.1. Оствалдов вискозиметар

Оствалдов вискозиметар служи за одређивање кинематичког коефицијента вискозности и његов рад је заснован на Поазејевом закону:

$$V = \frac{\pi(p_1 - p_2) \cdot R^4 \tau}{8\eta l} \quad (35)$$

R – полупречник капиларне цеви;

l - дужина капиларне цеви;

τ – време протицања течности;

$\Delta p = p_1 - p_2$ – разлика притисака на крајевима капиларе;

V - запремина истекле течности.

Мерење се обично врши релативно у односу на неку течност чији је коефицијент вискозности познат. Употребом исте капиларне цеви (исто R и l), посматра се протицање исте запремине течности (исто V). Већина од наведених величина отпада као заједничка константа. Ако се са индексом “0” означе величине које се односе на познату течност, а величине које се односе на непознату течност оставе без индекса, тада истекле запремине течности имају вредност:

$$V = \frac{\pi R^4 \Delta p_0 \tau_0}{8 \eta_0 l} \qquad V = \frac{\pi R^4 \Delta p \tau}{8 \eta l} \quad (36)$$

Деобом ових једначина добија се:

$$\eta = \eta_0 \cdot \frac{\tau}{\tau_0} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta p_0} \quad (37)$$

Пошто се разлика притисака у капиларној цеви, за исте висинске разлике, може изразити као:

$$\Delta p = \rho g \Delta h \quad \text{и} \quad \Delta p_0 = \rho_0 g \Delta h \quad (38)$$

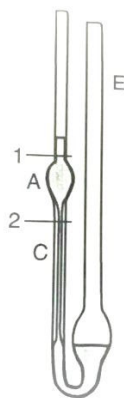
Израз за η може написати у облику:

$$\frac{\eta}{\rho} = \frac{\eta_0}{\rho_0} \cdot \frac{\tau}{\tau_0} \quad (39)$$

Или преко кинематичког коефицијента вискозности ν као:

$$\nu = \nu_0 \cdot \frac{\tau}{\tau_0} \quad (40)$$

Мерењем времена протицања две течности чије су густине познате, као и коефицијента вискозности једне од њих, може се одредити непознати коефицијент вискозности друге течности помоћу Оствалдовог вискозиметра који је приказан на слици 25.



Слика 25. Оствалдов вискозиметар [5]

Лева грана U – цеви испод проширеног дела је капилара C. Са 1 и 2 означена је стална запремина течности која истиче кроз капиларни део. Капиларна цев наставља се у ширу цев E која се налази на десној страни. У цев E сипа се течност познатог коефицијента вискозности и онда се помоћу пумпе која се прикључи на леви крак цеви, увуче течност док се кроз капилару не попне изнад ознаке 1. Тада се скида гумена пумпица и пусти да течност под дејством гравитационе силе истиче кроз капилару. Када течност стигне до ознаке 1 укључи се хронометар и мери време протицања течности док се не спусти испод ознаке 2. Вискозиметар се затим добро пропере и осуши и у њега се сипа иста запремина течности чији је коефицијент вискозности непознат. На исти начин се одреди време протицања ове течности између ознака 1 и 2 и то време ћемо означити са τ . На крају, на основу формуле (40) добијамо непознати коефицијент вискозности ν .

Утицај који температура има на промену вредности коефицијента вискозности је значајан, па је пожељно да се контролише температура просторије у којој се мерење обавља или да цео вискозиметар стоји у термостату.

8.2.2. Стоксова метода – Хеплеров вискозиметар

Ова метода се заснива на Стоксовом закону који даје израз за силу отпора кретању сферног тела кроз вискозну средину. Он је дао релацију:

$$F = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot V \quad (41)$$

Где је V брзина кретања тела, r полупречник тела а η је коефицијент вискозности флуида.

Ова формула важи само у случају да флуид ламинарно струји око чврстог тела, које се кроз њега креће, а то је могуће само при релативно малим брзинама тела. Када су у питању веће брзине долази до вртложног кретања и одступања од Стоксове претпоставке да је сила трења сразмерна брзини кретања тела:

$$F = k \cdot v \quad (42)$$

А k је коефицијент сразмерности, и има вредност $k = 6\pi \cdot r \cdot \eta$.

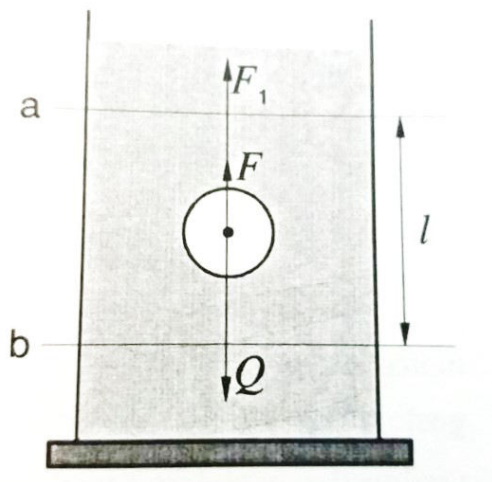
Овим законом се омогућава одређивање коефицијената вискозности флуида на основу одређивања силе трења, односно мерења брзине кретања тела.

Уколико се посматра слободно падање куглице масе m и радијуса r (слика 26) у вискозној средини коефицијента η , на куглицу делују три силе:

Сила тежине	$Q = m \cdot g$	(43)
-------------	-----------------	------

Сила потиска	$F_1 = \rho_0 \cdot g \cdot V$	(44)
--------------	--------------------------------	------

Сила отпора	$F = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$	(45)
-------------	---------------------------------------	------



Слика 26. Слободан пад куглице у вискозној средини [5]

Резултујућа сила која дејствује на куглицу је дата следећом релацијом:

$$R = Q - (F + F_1) \quad (46)$$

Када почетна брзина куглице није велика, веома брзо куглица почиње да се креће константном брзином ($V = \text{const}$), тј. без убрзања, односно резултујућа сила постаје једнака нули. Можемо рећи да се сила отпора мења све док се не уравни са разликом силе тежине и силе потиска које су непроменљиве ($F = Q - F_1$). Ако заменимо израз за запремину куглице и уведемо густину куглице ρ и густине течности ρ_0 , добићемо израз:

$$6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot g \cdot \rho + \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \rho_0 \cdot g \quad (47)$$

Одавде можемо изразити вредност за коефицијент вискозности η :

$$\eta = \frac{2}{9 \cdot v} \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho - \rho_0) \quad (48)$$

Брзина куглице се може мерити. На мензури се налазе две ознаке а и б које су на растојању l које можемо претходно измерити. Прва ознака а се налази 1 до 2 *cm* изнад површине течности. Мерењем времена које је потребно да куглица пређе растојање од а до б, можемо израчунати брзину:

$$v = \frac{l}{\tau} \quad (49)$$

Полупречник куглице се мери микрометарским завртњем. Густина материјала од којег је направљена куглица и густина течности, узимају се из таблица као познате величине.

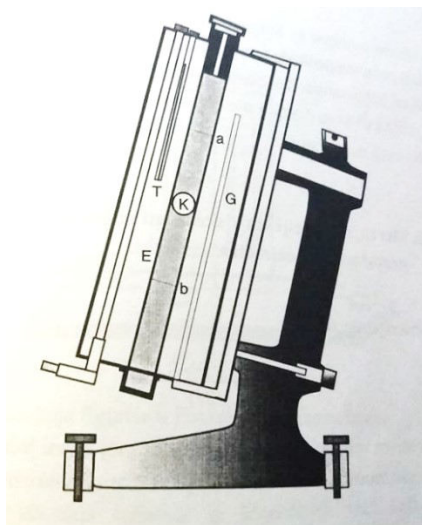
Заменом вредности за брзину, добија се управо коефицијент вискозности:

$$\eta = \frac{2}{9 \cdot v} \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho - \rho_0) \cdot \tau = k \cdot (\rho - \rho_0) \cdot \tau \quad (50)$$

k је дакле константа и зависи од куглице и дужине пута.

Време кретања куглице између ознака а и б меримо хронометром. Потребно је да то време буде макар од 5 до 10 секунди. Лоша страна ове методе је што увек морамо имати довољну количину течности којом пунимо мензурну, што није увек могуће. Зато се због тачнијег мерења времена ова метода примењује у Хеплеровом вискозиметру, који представља извесну модификацију Стоксове методе.

Хеплеров вискозиметар (слика 27) се налази на постољу под одређеним углом. Основни део му је стаклена цев Е у коју се сипа течност чији се коефицијент вискозности одређује. На њој су обележене две ознаке а и б између којих се мери време падања куглице К. Цев Е се налази у води која служи као термостат да би температура при мерењу била стална. Термометар се означава са Т.



Слика 27. Хеплеров вискозиметар [5]

Када се узму вредности густине ρ и ρ_0 и константу k из таблица које су приложене уз вискозиметар, као и мерење времена падања куглице τ , може се израчунати коефицијент вискозности за дату температуру. За промену температуре воде може да се користи грејач Г, који се напаја струјом. Други начин за регулисање температуре је прикључивање Хеплеровог вискозиметра на спољашњи термостат са сталним протоком воде која улази у вискозиметар на прикључку V. Поступак мерења је да се уобичајеном методом мери време падања куглице у цеви Е између подеока а и б и израчунава коефицијент вискозности за дату температуре, па се промени температура на термостату за 1-2 K и сачека се да систем постигне ту температуру, а након тога се мерење понавља.

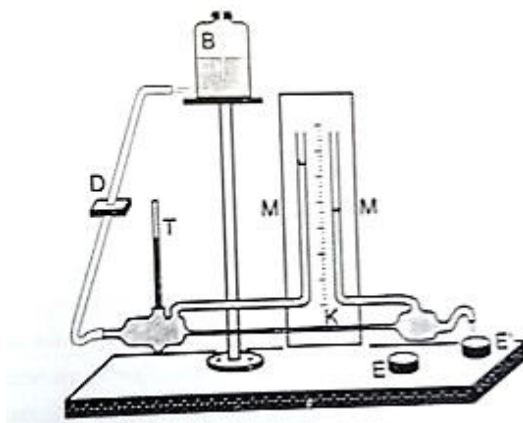
Овај процес се понавља за сваку нову температуру и тако се снима зависност коефицијента вискозности од температуре. Вредност из табеле треба да се нацртају у виду $\eta=\eta(T)$ графика да би се оценило понашање коефицијента вискозности мерене течности у функцији температуре.

8.2.3. Мерење коефицијента вискозности помоћу проточног вискозиметра

Ради се на основу Поазејевог закона:

$$\eta = \frac{\pi(p_1 - p_2) \cdot R^4 \tau}{8lV} \quad (51)$$

За ово мерење се користи вискозиметар приказан на слици 28.



Слика 28. Проточни вискозиметар [5]

Основни део вискозиметра је капиларна цев К. Цев има полупречник r и дужину l познате величине. Разлика притисака се мери помоћу отворених манометара М и М'. Течност у манометарским цевима помоћу које се мери притисак је иста она течност којој меримо коефицијент вискозности. Притисак у левом краку капиларне цеви чине атмосферски притисак и хидростатички притисак стуба течности у манометарској цеви:

$$p_1 = p_a + \rho \cdot g \cdot h_1 \quad (52)$$

На десном крају цеви К влада притисак p_2 чија је вредност:

$$p_2 = p_a + \rho \cdot g \cdot h_2 \quad (53)$$

На основу формула (52) и (53) разлика притисака износи:

$$p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \quad (54)$$

Помоћу стезача D на гуменом цреву може да се регулише брзина истицања течности. Када се постигне повољна брзина истицања течности из боце, почиње да се скупља течност у суду E. Маса суда E је претходно измерена. Када се подметне суд E, укључи се хронометар за мерење времена истицања течности. После нпр. пет до десет минута се зауставља хронометар који мери истицање течности и заустави истицање течности, или се само замени суд E са судом E'. Маса истекле течности се мери преко разлике масе суда са водом и масе празног суда E.

$$m = m_2 - m_1 \quad (55)$$

Густина течности је позната, па се запремина V течности одређује као:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (56)$$

Преко ових процеса су одређене све величине које се налазе у Поазејевом закону. Потребно је да све величине буду изражене у СИ систему. Пошто се коефицијент вискозности мења са температуром, на улазу у капилару је постављен термометар који мери температуре радне течности.

Задаци вежбе:

1. Одредити динамички коефицијент вискозности датих течних узорака на собној температуре:

а) Стоксовом методом;

б) Хеплеровим вискозиметром;

в) Проточним вискозиметром.

2. Одредити коефицијент кинематичке вискозности ν за дате течне узорке релативним мерењем, користећи Оствалдов вискозиметар.

3. Одредити зависност коефицијента вискозности воде η од температуре у датом опсегу температуре, користећи Хеплеров вискозиметар прикључен за термостат.

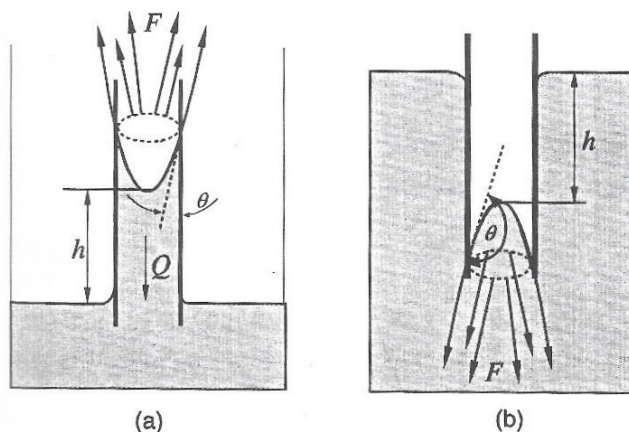
8.3. Мерење коефицијента површинског напона

Коефицијент површинског напона γ може да се мери на више начина:

- Метода капиларе
- Метода капи
- Метода микроваге

8.3.1. Метода капиларе

Капиларе су цеви пречника мањег од 1 mm. Ниво течности у капилари се разликује од нивоа слободне течности у суду. (Слика 29)



Слика 29. Приказ капиларе [5]

Уколико течност кваси капиларе, тада долази до подизања нивоа течности у капилари изнад нивоа слободне течности у суду. Површина течности у капилари се назива мениск и ако је кваси има конвексан облик. То се дешава када у стакленој капилари имамо воду или алкохол. Ако течност не кваси зидове капиларе, као што је случај са живом и стаклом, ниво течности у капилари је нижи од нивоа течности у суду, а мениск конкаван.

У капиларе где долази до квашења зидова, долази до појаве “слагања” молекула течности услед адхезионих сила. То повећава додирну површину између течности и ваздуха и почињу да делују силе површинског напона које теже да смање површину мениска. То се остварује подизањем течности у капилари (слика 29 под а)). Течност се пење у капилари све док се сила површинског напона F не изједначи са тежином Q стуба течности у капилари:

$$2\pi \cdot r \cdot \gamma = mg \quad (57)$$

$$2\pi \cdot r \cdot \gamma = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho \cdot g \quad (58)$$

На основу формула (57) и (58) коефицијент површинског напона γ је:

$$\gamma = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot r \quad (59)$$

r – полупречник капиларе; h – висина стуба течности изнад нивоа у суду; ρ – густина течности.

Да би се одредио коефицијент површинског напона γ најчешће се примењује релативна метода мерења коефицијента површинског напона. Ако је коефицијент напона за неку течност познат и износи:

$$\gamma_0 = \frac{1}{2} \rho_0 \cdot g \cdot h_0 \cdot r \quad (60)$$

У том случају исти је и коефицијент за непознату течност, мерен истом капиларом:

$$\gamma = \frac{1}{2} \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot r \quad (61)$$

Дељењем две релације (64) и (65) добијамо израз:

$$\gamma = \frac{\rho \cdot h}{\rho_0 \cdot h_0} \cdot \gamma_0 \quad (62)$$

На основу овог израза можемо одредити непознати коефицијент површинског напона.

Поступак при мерењу:

Стаклена капилара се прво добро опере и осуши, па се потопи у течност познатог коефицијента површинског напона (за воду $\gamma = 0,072 \text{ N/m}$) и измери висина стуба течности у капилари изнад нивоа течности у чаши. Потребно је да се приликом мерења капилара урони у течност а затим мало извуче, да би се поквасили стаклени зидови унутар капиларе и да би могле почети да делују силе међумолекулског дејства. Након тога се капилара извади, поново опере и осуши, па се потопи у течност непознатог коефицијента површинског напона и измери висина стуба течности изнад нивоа течности у суду. Густине обе течности, ρ и ρ_0 , узимају се из таблица. Формулом (62) се израчуна вредност непознатог коефицијента површинског напона.

Одређивање полупречника капиларе

Капилара, чији се полупречник одређује, напуни се живом. Нека стуб живе у капилари полупречника r буде дужине l . Запремина тог стуба се рачуна према релацији:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot l \quad (63)$$

Пошто је густина живе позната величина ($\rho = 13600 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$), маса стуба живе износи:

$$m = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho \quad (64)$$

Маса се мери аналитичким теразијама тако што се прво измери маса празне стаклене чаше. Затим се измери маса чаше са стубом живе који је испуштен из капиларе. Маса стуба живе је:

$$m = m_1 - m_2 \quad (65)$$

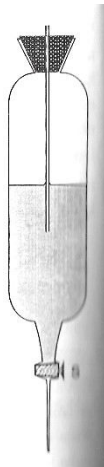
Из формуле за масу живе можемо изразити полупречник капиларе:

$$r = \sqrt{\frac{m}{\pi \cdot l \cdot \rho}} \quad (66)$$

Да би био тачније одређен резултат полупречника капиларе, он се одређује више пута, при чему се сваки пут мери дужина и маса живиног стуба. Дужина се мери лењиром и изражава се у метрима. Полупречник капиларе ће такође бити изражен у метрима.

8.3.2. Метода капи

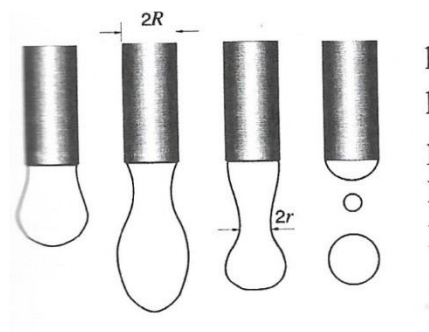
Апарат за мерење коефицијента површинског напона методом капи се назива сталагмометар. Постоји више типова сталагмометра од којих ће један бити приказан на слици 30.



Слика 30. Сталагмометар [5]

У суд се сипа течност чији се коефицијент површинског напона одређује, док се преко славине регулише брзина истицања течности.

Капљица која се формира из течности која истиче кроз неку капиларну цев расте и њена тежина мора да савлада силу површинског напона да би се одвојила од капиларе. Приликом откидања кап пролази кроз четири фазе (слика 31).



Слика 31. Одвајање капи из капиларне цеви [5]

На месту сужења кап се одваја од остале масе течности када њена тежина Q достигне вредност силе површинског напона која дејствује по обиму тог сужења:

$$Q = 2\pi \cdot r \cdot \gamma \quad \gamma = \frac{Q}{2\pi \cdot r} = \frac{mg}{2\pi \cdot r} \quad (67)$$

Ако се узме да је полупречник сужења $r = R$, где је R полупречник капиларне цеви на крају сталагмометра, тада је коефицијент површинског напона γ :

$$\gamma = \frac{mg}{2\pi \cdot r} \quad (68)$$

Применом ове формуле добијене су вредности које су се знатно разликовале од вредности добијених за исту течност са другим методама. Узрок томе се може наћи у анализи процеса откидања капи. У моменту откидања поред велике капи се формира и једна мања кап која се често и не запажа. Маса мале капи мери се заједно са масом велике капи, сматрајући их као једну кап.

Да би се отклонило ово неслагања између метода извршен је експеримент са капиларама различитог полупречника и израчуната је поправка за добијање стварне масе велике капи а самим тим и поправка за тачну вредност коефицијента. За различите односе између запремине капи и радијуса капиларе, поправка ће бити различита. Узимају у обзир ову поправку, формула изгледа овако:

$$\gamma = \frac{mg}{2\pi \cdot r} \cdot F \quad (69)$$

F означава одговарајућу поправку која се узима из таблица.

Полупречник капиларе се одређује микроскопом са микрометром или неком другом методом. Запремина капи се одређује тако што се измери маса једне или више капи и подели са густином течности. Кад знамо однос запремине капи и полупречника капиларе, налазимо вредност поправке F из таблице. При спором истицању течности, вредност поправке обезбеђује тачност до 0,1%.

Када нам није битна велика тачност, обично се мерење врши релативно у односу на неку течност чији се коефицијент површинског напона познаје. Величине које се односе на течност познатог коефицијента површинског напона изражене су формулом:

$$\gamma_0 = \frac{m_0 g}{2\pi \cdot r} \cdot F_0 \quad (70)$$

За течност непознатог коефицијента површинског напона важи формула:

$$\gamma = \frac{mg}{2\pi \cdot r} \cdot F \quad (71)$$

Ако сматрамо да се поправке F и F_0 не разликују, деобом једначина добија се израз:

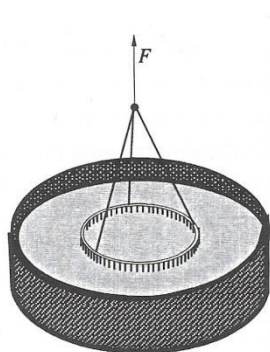
$$\gamma = \frac{m}{m_0} \cdot \gamma_0 \quad (72)$$

Маса једне капи се одређује тако што се маса чисте стаклене посуде измери на аналитичким теразијама и добијена вредност се означи са m' . Затим се отвори славина S на сталагмометру и пусти да течност капље у суд, при чему се капи броје. Обично се одброји 50 капи, а може и више. Маса суда се измери са одбројаним капима течности и добијена маса се означи са m'' . Маса једне капи течности једнака је:

$$m = \frac{m'' - m'}{50} \quad (73)$$

8.3.3. Метода микроваге

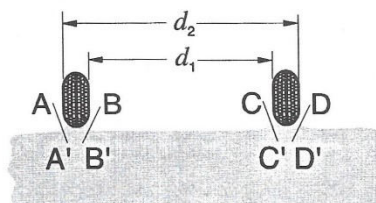
Метода микроваге се највише примењује. Она директно мери силу која делује на извесној дужини слободне површине течности (слика 32).



Слика 32. Микровага [5]

У случају микроваге на слици 32, означена сила F је сила која је потребна да се прстен P одвоји од течности у коју је зарођен (под условом да течност потпуно кваси прстен).

Када се прстен откине, површина течности ће се прекинути веома близу прстена (као што је то приказано на слици 33, и то, приближно на местима АА', ББ', ЦЦ' и ДД'.



Слика 33. Површина течности након откидања прстена [5]

Може се сматрати да се течност прекида по дужини l која је једнака унутрашњем и спољашњем обиму прстена:

$$l = (d_1 + d_2) \cdot \pi \quad (74)$$

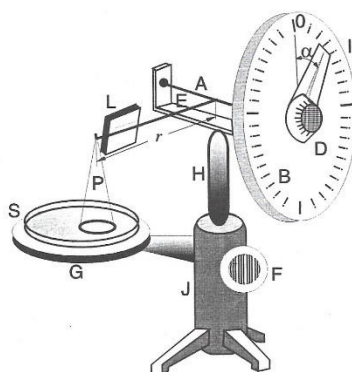
Сила површинског напона F која задржава прстен у течности је:

$$F = \gamma \cdot (d_1 + d_2) \cdot \pi \quad (75)$$

Па, одатле:

$$\gamma = \frac{F}{(d_1 + d_2) \cdot \pi} \quad (76)$$

Пречници прстена мере се његовим наслањањем на милиметарску хартију. Када се измери сила из дате једначине може се израчунати коефицијент површинског напона. Сила се најбоље мери помоћу торзионе микроваге приказане на слици 34. Микровага се састоји од торзионе жице А на коју је причвршћена полука Е.



Слика 34. Микровага [5]

Један крај жице је непокретан а други је учвршћен за дугме D са иглом I која може да се обрће по угаоној скали B. На другом крају полуке Е закачен је прстен P од танке жице. Цела контрукција може да се диже и спушта на стативу H помоћу тоцка F. Као носач ваге служи статив J. На стативу се налази и платформа G за постављање посуде S у којем се

налази испитивана течност. Да би се полуга Е одржавала стално у истом положају, иза ње се налази огледало L која означава нулти положај теразија. Када на полугу Е делује нека слика, полуга излази из свог равнотежног положаја у односу на нулту црту у огледалу. Како би се полуга вратила у равнотежу, игла I мора се обрнути за изврстан угао α у супротном смеру. Из теорије о деформацији жице торзијом, знамо да је угао увртања жице α сразмеран моменту силе:

$$M = c \cdot \alpha \quad (77)$$

c – торзиона констана жице.

Овај торзиони момент се изједначава са моментом спољашње силе, која делује на краку r који одговара растојању тачке вешања прстена од жице:

$$r \cdot F = c \cdot \alpha \quad (78)$$

Вредност силе F је:

$$F = \frac{c}{r} \cdot \alpha \quad (79)$$

Количник c / r је константа микроваге и може се израчунати на основу релације:

$$F = k \cdot \alpha \quad (80)$$

Да би се могла мерити сила мора се прво одредити константа микроваге, тј. вага се мора калибрисати. Калибрација ваге се врши тако што се тег познате масе и погоднoг облика окачи на полугу Е на истом месту где је и прстен Р. Тежина тег се рачуна као $m \cdot g$, а на полугу делује сила $F = m \cdot g$. Под дејством силе полуга излази из равнотежног положаја. Увртањем игле I полуга се враћа у равнотежни положај и то се проверава на огледалу L. Очитавањем угла увртања, може се одредити константа k из релације:

$$k = \frac{mg}{\alpha} \quad (81)$$

Када се више пута изврше мерења тегова различитих маса, може се доћи до средње вредности константе микроваге k . Све вредности уносимо у табелу:

Бр. мерења	$m [g]$	$\alpha [^\circ]$	$F [N]$	$k [N/^\circ]$
1.				
2.				
3.				
4.				

Табела 2. Табела за унос података при раду вежбе Мерење коефицијента површинског напона методом микроваге [5]

Калибрације микроваге може се извршити и графички. У координатни систем се наноси вредност силе F на ординату којом поједини тегови делују на полугу. На абсциси се наносе одговарајући углови α за које треба окренути иглу I да би се полуга под оптерећењем вратила у нулти положај. Тако добијене тачке треба да леже на правој линији која пролази кроз координатни почетак. Са добијеног графика сила се одређује из вредности нагиба праве линије.

Приступање мерењу коефицијента површинског напона непознате течности се може приступити после завршене калибрације микроваге. У суд S се сипа испитивана течност. Игла I се постави у нулти положај наспрам црте у огледалу. Помоћу точка F цео уређај се спушта толико да прстен потоне тик испод површине течности. Полуга E треба да се налази на нивоу црте на огледалу. Затим се полако окреће игла I и посматра прстен. Прстен се издиже изнад површине течности и у једном моменту долази до пуцања везе, тј. долази до одвајања прстена од течности. То је моменат када се спољашња сила изједначи са силом површинског напона дуж прстена. Тог момента треба стати са окретањем игле I и очитати угао α за који је игла заокренута. Мерење се понавља више пута да би се добила средња вредност угла откидања. Из ове вредности α добија се средња вредност силе откидања по релацији:

$$F = k \cdot \alpha \quad (82)$$

На основу ових података можемо израчунати коефицијент површинског напона према формули (76): $\gamma = \frac{F}{(d_1 + d_2) \cdot \pi}$.

Задаци вежбе:

1. Одредити коефицијент површинског напона дате течности методом капиларе:
2. Одредити коефицијент површинског напона дате течности помоћу сталагмометра методом капи и релативним мерењем.
3. Изврсити калибрацију микроваге помоћу пет датих тегова.
4. Одредити коефицијент површинског напона дате течности апсолутним мерењем помоћу калибрисане микроваге.
5. За серију раствора вода-алкохол у односу: 1:0, 0,75:0,25, 0,5:0,5, 0,25:0,75 и 0:1 одредити зависност коефицијента површинског напона од концентрације алкохола у њима.

9. Демонстрациони експерименти

9.1. Одређивање коефицијента вискозности

Теоријски увод

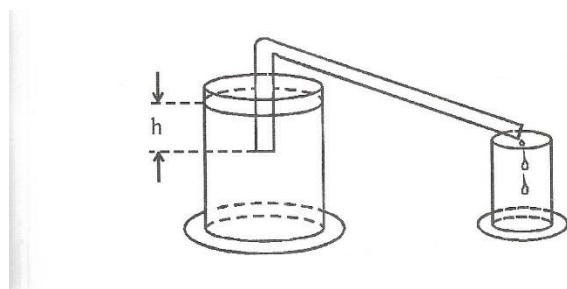
Полазећи од Њутновог закона за силу вискозног трења при ламинарном кретању течности, Поазеј је показао да се при протицању вискозне течности кроз цеви малог попречног пресека запремина течности која протекне у јединици времена или проток може изразити као:

$$Q = \frac{dV}{dt} \qquad \frac{dV}{dt} = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8l\eta} \qquad (83)$$

r – полупречник цеви; l – дужина цеви, η – коефицијент вискозности, Δp – разлика притисака који владају на крајевима цеви.

За случај стационарног кретања течности, истеклу запремину V у времену t можемо израчунати као:

$$V = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8l\eta} \qquad (84)$$



Слика 35. Апаратура за одређивање термичког коефицијента вискозности [7]

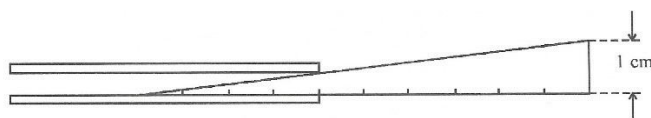
Користећи врло једноставну апаратуру, приказану на слици 35, израчунаћемо коефицијент вискозности воде, мерећи директно величине из Поазејевог обрасца. За овај случај је:

$$\Delta p = \rho gh \qquad (85)$$

Апаратура и упутство за вежбу

Пре почетка мерења треба одредити полупречник и дужину капиларне цеви. Полупречник ћемо израчунати користећи метални правоугли троугао. Овај троугао има однос дужина катета 10:1 *cm*. Када троугао увучемо у стаклену цев, користећи принцип

сличности троуглова, лако се одређује пречник цеви (за цев на истој слици, $d = 0,4 \text{ cm}$). (Слика 36)



Слика 36. Мерење полупречника и дужине капиларне цеви [7]

Цев се учвршћује на сталак и гумено црево тако да се на једном његовом крају увуче у посуду са течносту. Нагиб цеви треба подесити тако да течност веома споро истиче. Ниво течности у посуду споро опада па се може сматрати да је разлика притисака дефинисана формулом (84) стална, односно да је проток стационаран. Течност која истиче хвата се у мензурку и мери се време за које истекне течност одређене запремине V .

Задатак вежбе

1. Одредити полупречник и дужину капиларне цеви као и разлику притисака на њеним крајевима.

$R =$		m
$l =$		m
$\Delta p =$		Pa

Табела 3. Табела за упис резултата мерења параметара значајних за обављање вежбе 9.1. [7]

2. Користећи Поазејев образац израчунати коефицијент вискозности дате течности на датој температури из три мерења.

$V [m^3]$	$t[s]$	$\eta[10^{-3} Pa s]$

Табела 4. Табела за упис података значајних за обављање вежбе 9.1. [7]

9.2. Одређивање термичког коефицијента ширења течности

Теоријски увод

Код запреминског ширења течности релативна промена запремине је пропорционална температури:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta t \quad V_t - V_0 = V_0 \beta t \quad V_t = V_0(1 + \beta t) \quad (86)$$

За задату масу течности m видимо да се густина мења са температуром као:

$$\rho_t = \frac{m}{V_t} = \frac{m}{V_0(1 + \beta t)} = \frac{\rho_0}{1 + \beta t} \quad (87)$$

Да бисмо промену густине искористили за одређивање термичког коефицијента ширења течности, посматрајмо два спојена суда истог попречног пресека у којима се налази иста течност, али на различитим температурама. Из услова једнакости хидростатичких притисака налазимо коефицијент β :

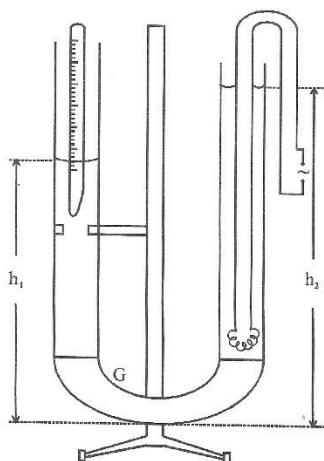
$$\rho_{t1} g h_1 = \rho_{t2} g h_2 \quad (88)$$

$$\frac{h_1}{1 + \beta t_1} = \frac{h_2}{1 + \beta t_2} \quad (89)$$

$$\beta = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_2 t_1} \quad (90)$$

Апаратура и упутство за вежбу

У горњем извођењу смо претпоставили да у сваком суду течност има одређену температуру, а како су судови спојени долази до мешања течности. Услед тога морамо експериментално осигурати да ситуација буде што сличнија горњем, идеализованом случају. Ово постижемо тако да један стуб течности грејемо директно грејачем и при томе мешамо течност, што омогућава да је температура константна дуж целог суда. С друге стране, део суда у којем се течности мешају, а то је у овом случају гумено црево G је већином у хоризонталном положају и не утиче много на хидростатички притисак. (Слика 37)



Слика 37. Апаратура за вежбу одређивања термичког коефицијента ширења течности [7]

Задатак вежбе

Загревати један стуб течности да разлика висина буде од 1,5 до 3 cm и на основу измерених температура одредити термички коефицијент ширења течности. Извршити више мерења са различитим разликама висина стуба течности и израчунати средњу вредност коефицијента ширења β . Резултате средити табеларно.

$h_1[cm]$	$h_2[cm]$	$t_1[^\circ C]$	$t_2[^\circ C]$	$\beta[^\circ C^{-1}]$	$\beta_{sr}[^\circ C^{-1}]$

Табела 5. Табела за унос резултата мерења параметара значајних за обављање вежбе 9.2. [7]

9.3. Одређивање модула еластичности савијањем

Теоријски увод

Уколико посматрамо тело чији је попречни пресека S и дужина l и ако сила јачине F делује нормално на пресек S и узрокује издужење тела за Δl , постоји следећа веза између напона и релативне деформације тела:

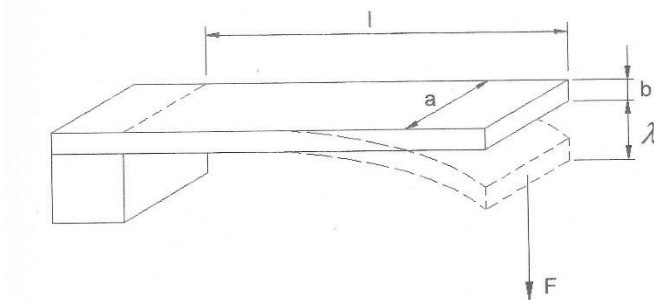
$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l} \quad (91)$$

Ово је Хуков закон и он важи за одређене области деловања силе на тело када је релативна деформација пропорционална сили која је проузрокује. Граница до које важи Хуков закон се назива граница пропорционалности. Величина E се назива модул еластичности и својство је сваког материјала. Формула (91) изведена под претпоставком да је дужина тела l много већа од остале друге две димензије, па тако да се при деловању силе промена попречног пресека S може занемарити у поређењу са деформацијом Δl .

Друга идеализација у Хуковом закону је да сила делује нормално на пресек тела, док у пракси деловање силе најчешће узрокује савијање.

Апаратура и упуство за вежбу

У овој вежби се посматра шипка која има правоугаони попречни пресек, чија је дужина l , а попречне димензије a и b . Шипка је постављена тако да је учвршћена на једном крају, а на други крај се делује силом F која је у почетном тренутку усмерена нормално на дужину шипке, као што је показано на слици 38.



Слика 38. Поставка експеримента за вежбу одређивања модула еластичности савијањем [7]

Дејство ове силе узрокује савијање слободног краја шипке за величину λ , која је пропорционална сили F и износи:

$$\lambda = \frac{4}{E} \cdot \frac{Fl^3}{\pi b^3} \quad (92)$$

У случају да је шипке кружног попречног пресека полупречника r учвршћене на једном крају, савијање слободног краја може одредити на основу релације:

$$\lambda = \frac{4}{3E} \cdot \frac{Fl^3}{\pi r^4} \quad (93)$$

Задатак вежбе

1. Измерити димензије сваке од датих шипки.
2. Оптеретити слободни крај шипке теговима различите масе и измерити одговарајуће савијање шипке.
3. Користећи горње обрасце израчунати модул еластичности E датих шипки и поређењем добијених вредности са табличним утврдити о којим материјалима се ради. У дату табелу унети резултате мерења и рачунања.

шипка	l [m]	a [m]	b [m]	r [m]	m [kg]	F [N]	λ [m]	E [$\frac{N}{m^2}$]	материјал
1									
2									
3									
4									

Табела 6. Табела за упис резултата мерења параметара значајних за обављање вежбе 9.3. [7]

9.4. Аномалија воде

Теоријски увод

Када се налази на собној температури, вода представља течност без боје, мириса и укуса. То је једињење водоника и кисеоника.

Максимална густина коју вода може имати се добија када се обезбеди температура

Чињеница да вода има и друге чудне карактеристике, води до закључка да вода показује аномалијско понашање. Ова аномалија се објашњава структуром атома у молекулу воде.

Промена густине течности са загревањем се мења према формули:

$$\rho(t) = \frac{\rho(0\text{ }^{\circ}\text{C})}{1 + \beta t} \quad (94)$$

За температуре у интервалу од 0 °C до +4 °C, вода има негативан коефицијент ширења ($\beta < 0$), на температури до +4 °C коефицијент ширења је нула. На температурама вишим од +4 °C, коефицијент постепено расте.

На 4 °C, запремина воде је минимална, па самим тим је густина тада већа.

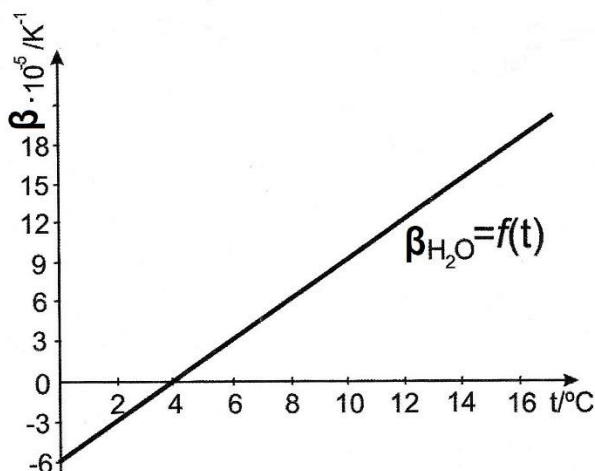


График 3. Зависност коефицијента ширења воде од температуре

Управо због овога се реке и језера зими смрзавају од површине, а не од дна јер температура воде при дну може да буде виша од оне на површини. Доказ за то нам је постојање биолошког света у дубинама.

Како се аномалија може објаснити?

Молекули воде се сакупљају у групе од по неколико молекула и формирају макромолекуле различитих запремина. Вода се, иначе, састоји од молекула H₂O, (H₂O)₂, (H₂O)₃, којима су запремине различите. Концентрација молекула на температури од 4 °C по групама је таква да они заузимају најмању запремину.

Кад се помене аномалија воде, сви се сете оне за коју су чули у основној школи. То је аномалија промене густине при мржњењу тј. при очвршћавању. Што је вода хладнија, густина јој је све мања, јер се и она хлађењем скупља као и друга тела. Међутим, за воду ово правило важи само до 4 °C изнад нуле. Ако је хладимо и даље, она почиње да се шири! И кад се на нула степени сасвим заледи, очврсла вода (лед) има запремину око 9% већу него пре почетка хлађења. Сасвим довољно да “као од шале” попуцају чак и јаке металне цеви, блокови и хладњаци аутомобилских мотора и готово свака посуда у којој се вода заледи.

Апаратура и поступак

Мери се експанзија воде у посуди са дугачком цеви (слика 39). Висина h до које се попне вода се мери у функцији промене температуре воде.

Занемарује се чињеница да се стаклена посуда исто шири услед промене, тј. повећања температуре, па је укупна запремина воде у посуди и цеви дата релацијом:

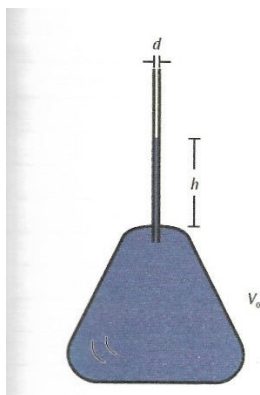
$$V(t) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(t) \quad (95)$$

У формули (95) d је унутрашњи пречник цеви а V_0 запремина посуде.

Уколико у причу уведемо и ширење посуде, једначина (95) ће гласити:

$$V(t) = V_0(1 + 3 \cdot \alpha \cdot t) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(t) \quad (96)$$

α је коефицијент линеарног ширења стакла и износи $\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.



Слика 39. Посуда са дугачком цеви коју користимо у експерименту 9.4. [7]

Апаратуру треба поставити на следећи начин. Прво се направи мешавина смрвљеног леда и кухињске соли и напуни се пластична посуда њом. Све се стави у магнетну мешалицу да се сједини. Маркером се обележи ниво воде у цеви. Док се у мешалици меша раствор очитати ниво воде h на сваких $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ – од $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ до $15 \text{ }^\circ\text{C}$. График зависност висине нивоа воде од температуре изгледаће као што је то приказано на графику 4.

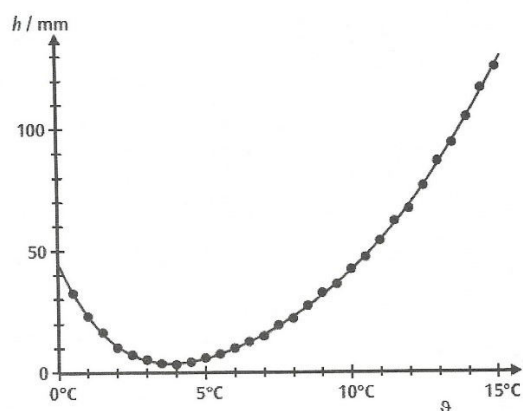


График 4. Ниво воде h као функција температуре [7]

Релативну густину воде можемо добити на основу :

$$\frac{\rho(t)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V(t) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(t)}{V_0(1 + 3 \cdot \alpha \cdot t) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(t)} \quad (97)$$

Са графика 5 можемо видети да је максимална вредност израза датог релацијом (97), управо када је температура $t = 4^\circ\text{C}$.

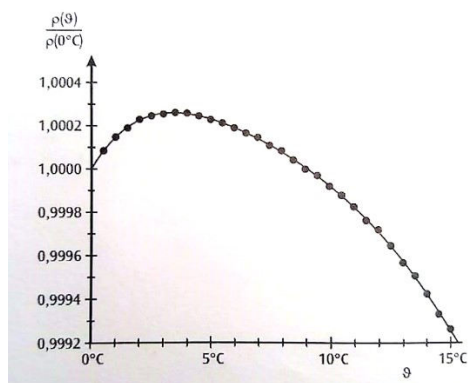


График 5. Зависност релативне густине воде од температуре [7]

Запремина дестиловане воде опада при смањењу температуре до 4°C , где достиже минимум а затим поново почиње да расте до нуле.

Задатак вежбе

1. Очитати ниво воде у функцији температуре. Вршити очитавање на сваких $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, почевши од $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ па до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Резултате мерења унети у табелу 7.

Број мерења	$t\text{ }[^{\circ}\text{C}]$	$h\text{ }[mm]$

Табела 7. Резултати мерења нивоа воде у функцији температуре [7]

2. Нацртати график зависности $h\text{ }[mm]$ од $t\text{ }[^{\circ}\text{C}]$. График би требало да има форму као график 2.

10. Једноставни огледи

10.1. Оглед 1. Стрелица топлог срца

(Циљ овог огледа је посматрање физичке појаве топлоте, линеарног ширења тела при загревању, али и упознавање ученика са практичном применом и развијање мануелних способности.)

Потребан материјал:

- две стаклене флаше
- чеп од плуте
- игла за штрикање (од алуминијума, не од пластике) или жица дужине 50 cm
- игла за шивење
- папир или картон
- свећа

Извођење експеримента:

У отвор једне од припремљених флаша ставити чеп од плуте. У тај чеп забости иглу за штрикање или жицу. Други крај игле наслонити на грлић друге флаше. Кроз средину папирне стрелице (коју смо претходно направили) пробости мању иглу и други крај исте ставити између игле за шивење и грлића боце. Испод игле за штрикање ставити упаљену свећу. (Слика 40)



Слика 40. Поставка за Оглед 1

Објашњење:

Приликом загревања долази до термичког ширења жице (игле). Због односа дужине и пречника жице ово ширење може се сматрати линеарним термичким ширењем. Промена дужине жице региструје се променом положаја стрелице.

Линеарно ширење тела приликом загревања, мора се узети у обзир приликом постављања железничких или трамвајских шина или градње мостова. Да због температурних разлика не би дошло до нежељених деформација шина, као и спречавања истезања, дуж пруга се уграђују фуге за ширење.

10.2. Оглед 2. Касица за хладне новчиће

(Циљ овог огледа је посматрање физичке појаве топлоте, термичког ширења тела, и упознавање ученика са практичном применом и развијање мануелних способности.)

Потребан материјал:

- метална касица
- новчић
- клешта
- свећа
- посуда са хладном водом

Извођење експеримента:

Кроз отвор касице покушај да убациш новчић, и наравно новчић ће упасти. Извади тај исти новчић из касице и држи га клештима изнад претходно упаљене свеће док се не загреје. Када загрејеш новчић покушај да га убациш у касицу, неће проћи. Ако одмах новчић ставимо у хладну воду, после кратког времена, покушај да опет убациш новчић у касицу, успећеш!

Објашњење:

Услед загревања новчића, гвожђе, од којег је новчић направљен, линеарно се шири. Ако знамо да је коефицијент термичког ширења $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и да је пречник новчића нпр. $d = 21 \text{ mm}$, а температура се повиси за $\Delta T \approx 500 \text{ K}$, промена пречника новчића је $\Delta d = \alpha \cdot d \cdot \Delta T \approx 0,13 \text{ mm}$. Ово повећање пречника онемогућава новчићу да упадне у касицу. Када охладимо новчић у води, новчић се скупља, пречник достиже првобитну вредност пречника и можемо га опет убацити у касицу.

10.3. Оглед 3. Сферни балон од сапунице

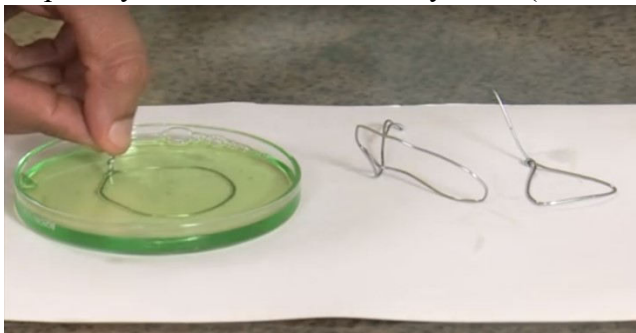
(Циљ овог огледа је да се демонстрира тежња опне течности, и уопште течности, да заузме најмању могућу површину, а то је површина сферног облика.)

Потребан материјал:

- тањир
- вода
- детерџент
- жица попречног пресека од око 1 -1,5 mm
- клешта

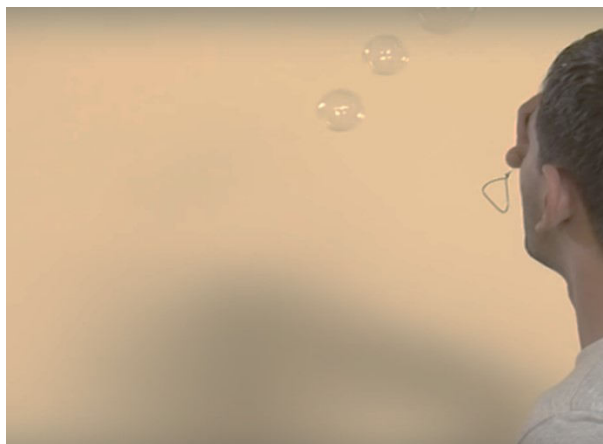
Извођење огледа:

У тањир сипамо воду и детерџент како би се направила течност за „балончиће". Узети жицу и клештима је исећи на више места тако да се добију три жице од око 40 cm. Сваку од њих пажљиво савити помоћу руку и клешта у разне облике. Нека то буду приближно сферни облик, правоугаони и троугласти. Сада један по један треба умочити у течност из тањира и дувати балоне. Од жице смо дакле направили облике који подсећају на дршке дечије играчке и кроз њу излазе балони од сапунице. (Слика 41)



Слика 41. Рамови од жице за прављење балончића од сапунице [26]

Прво, када кроз сферни рам дунемо, очекивано ћемо добити балон који има облик лопте. Када узмемо други, правоугаони рам направљен од жице, балон ће опет испасти сферног облика. Најзад, и када поновимо поступак користећи троугласти рам, резултат ће бити исти – балон који излази има облик лопте (сфере). (Слика 42)



Слика 42. Балони од сапунице имају сферни облик [25]

Објашњење:

Према општем принципу, сваки систем у природи тежи да заузме такво равнотежно стање у коме му је потенцијална енергија минимална. Међу свим телима исте запремине најмању површину има сфера. Опна ће тежити, као и остала тела, да заузме најмању могућу површину због равнотеже па ће тако тежити да заузме сферни облик површине.

10.4. Оглед 4. Направи опну од сапунице

(Циљ овог огледа је да се покажу особине површинског напона, као и појава еластичне деформације конца. Површински напон као сила има за циљ да површину течности сведе на минималну могућу.)

Потребан материјал:

- жица пресека 1 до 1,5 mm
- конач
- вода
- сапун
- глицерин



Слика 43. Различити облици опне од сапунице [25]

Извођење огледа:

Направити сапуницу тако што ћемо помешати воду, сапун и глицерин. Узмемо жичани прстен чији пречник треба да буде око пет центиметара и привежимо за њега конач. Када жичани прстен са концем потопимо у сапуницу и извучемо, на прстену ће се образовати танка опна течности на којој конач заузима произвољан облик. Али када померамо рам, конач ће мењати положај у равни опне и увек ће се налазити у равнотежном стању. Ако би се опна прибила са једне стране конца, конач би се затегао према другој страни. (Слика 43) На сличан начин се може показати и када узмемо правоугаони рам, тако да су му две паралелне странице направљене од жице, а друге две стране од конца.

Сада, када потопимо у сапуницу и извлачимо правоугаони рам, видећемо да више неће бити правоугаони, пошто ће опна повући конце и они ће се искривити ка унутрашњости опне. Ако узмемо правоугаони рам, тако да му је само једна страница направљена од конца, при потапању таквог рама у течност од сапунице, опна која ће се створити на њему повући ће конач и образоваће минималну површину. Сада можемо везати додатни конач за ту страницу која је направљена од конца и деловањем силе на њега можемо деформисати опну. Чим се престане са дејством силе, опна ће заузети почетни положај.

Објашњење:

Течности теже за што мањом слободном површином и зато делују силама површинског напона на сваку контуру. Услед деловања силе површинског напона долази до затезања конца и конач бива повучен од преосталог дела опне, и тежи да смањи своју површину. Опна, с друге стране, вуче конач силама које су на њега нормалне и које су у равни са опном. Исте силе су дејствовале и пре него што је део опне раскинут, али пошто је опна била на обема странама конца, укупна сила којом је опна дејствовала на конач била је једнака нули и конач се налазио у равнотежном стању.

10.5. Оглед 5. Новчић остаје на површини воде

(Циљ овог огледа је да се покаже постојање површинског напона и понашање површине воде као да је еластична опна. Услед ове одлике могуће је да се на овој опни задрже лакши објекти.)

Потребан материјал:

- метални новчић
- посуда са водом
- цигарет папир



Слика 44. Новчић који остаје на површини воде [25]

Извођење огледа:

На површину воде опрезно спустимо један метални новчић, и трудимо се да се он задржи на површини воде и да не потоне, као што је то показано на слици 44. Прво што већина помисли је како то да новчић не потоне када сви знамо да је гвожђе гушћи материјал од воде и као такво, очекивано је да потоне. Најподеснији начин да се на правилан начин новчић спусти у чашу и да не потоне је да се он стави на цигарет папир који ћемо прво поставити на површину воде. У тренутку када цигарет папир упије воду, он ће пасти на дно, а спајалица ће остати на површини воде.

Објашњење:

При извођењу овог огледа видимо да се течност понаша као да на слободној површини има опну. Ова привидна опна има могућност да се деформише и да се растегне, а да се притом не прекине. Кад престане дејство силе, површина ће се вратити у првобитно стање. Иако новчић плива на површини воде, може се приметити је да се око њега ствара једно, једва приметно, удубљење. Пошто вода тежи да заузме на својој површини потпуно хоризонталан положај, површински слој течности настоји да то удубљење исправи, па течност на новчић врши притисак навише и на тај начин га подупире.

10.6. Оглед 6. Вода у сити?

(Циљ огледала је да се докаже постојање површинског напона који настаје као збир више површинских напона малих опни и на који начин се као таква може успротивити тежини течности.)

Потребан материјал:

- вода
- чаша
- сито или газа
- гумица
- картон
- папир

Извођење огледа:

Сувом газом се покрије чаша и причврсти се гумицом, а затим можемо сипати воду у чашу. Примећујемо да вода кроз суву газу доста брзо напуни чашу. Затим ћемо ставити картон папир на газу која је причвршћена на чашу и окренути је. Уколико извучемо полако картон, вода ће сада исцурити из чаше много спорије него када смо у њу сипали.

Објашњење:

Услед површинског напона, међу ситним отворима мокре газе стварају се опне. Настале опне теже да пропуштају воду него што је то случај са сувом газом, зато што су рупице слободне. Тежина течности ће се расподелити на мноштву малих опни и атмосферски притисак ће је задржати у чаши. Уколико искривимо чашу тако да на мањи број опни долази већа количина воде, она ће се излити.

10.7. Оглед 7. Термоскоп

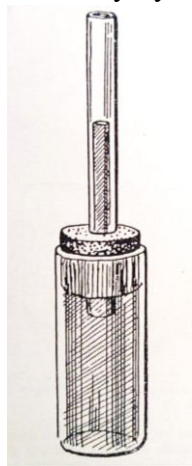
(Циљ овог огледа је да се још једном на једноставан начин прикаже појава топлотног ширења течности.)

Потребан материјал:

- једна епрувета
- плутани чеп
- танка стаклена цевчица
- вода
- по жељи, боја за јело

Извођење огледа:

Епрувету добро затворити плутаним чепом, тако да ваздух не може да улази у епрувету. Затим кроз плутани чеп провући танку стаклену цевчицу, поново пазећи да је онемогућено ваздуху да око ње уђу у епрувету. Када је ово подешено, кроз танку цевчицу сипати воду коју смо обојили или бојом за јело или анилинским плаветнилом. Сипамо воде толико да дође до око половине цевчице која вири из чепа. (Слика 45) Када узмемо епрувету у руку, можемо видети како се пење водени стуб у цевчици.



Слика 45. Термоскоп [27]

Објашњење:

Од раније је већ позната и доказана појава топлотног ширења течности. Када епрувету која је напуњена водом узмемо у руку, ниво воде ће се померити, односно „скочиће ниво“. Водени стуб се пење у цевчици. Епрувети бива загрејана од стране нашег тела, тачније руке, а вода која је у њој се на рачун те топлоте шири. Пошто се течност шири, ниво воде у воденом стубу расте.

10.8. Оглед 8. Разбежани бибер

(Циљ овог огледа је увид у постојање материја које могу да или повећају или смање површински напон течности. Те материје називамо површински активним материјама.)

Потребан материјал:

- црни бибер
- посуда са водом
- течни сапун

Извођење огледа:

У посуду сипамо воду, а затим посипемо црни бибер равномерно по површини воде. Капнемо течни сапун у средину површине течности. Након тога, приметимо да ће се бибер разбежати ка ивицама суда. При сваком новом извођењу експеримента користимо чисту воду и чисто посуђе (Слика 46).



Слика 46. Дејство сапуна на површински напон [25]

Објашњење:

Површински напон је на целој површини исти када смо ставили бибер. Када у средину капнемо сапуном, на том месту ће се површински напон смањити и доћи ће до померања бибера ка ивицама посуде, односно ка површини где је површински напон већи. Површински напон сапуна у односу на ваздух је мањи него што је то сличај са водом. Неке материје имају особину да смањују или повећавају површински напон, што се лако може објаснити њиховом молекуларном структуром.

10.9. Оглед 9. Куглица од воска

(Циљ огледа је да се ученицима покаже да се неке материје квасе, неке не. У огледу се ради са воском, и он има особину да га вода не кваси. Битно је нагласити да је управо захваљујући површинском напону могуће тело из дубине поново подићи на површину течности.)

Потребан материјал

- дубља посуда са водом
- тегла
- восак
- чиоде

Извођење огледа

Од воска ћемо направити малу куглицу, да јој пречник буде 2-3 cm. Напунићемо посуду са водом и ставити куглицу на површину воде. Куглица ће плутати по води, као што је то показано на слици 47, јер је густина воска мања од густине воде. Ако убадамо у куглицу чиоде једну по једну, повећаваћемо средњу густину куглице све док не добијемо приближну, али мало већу густину од воде. Тада је поставимо врло пажљиво на површину воде. Приметићемо да куглица неће потонути него ће плутати тако што јој само мали део вири напоље. Уколико је гурнемо испод површине воде, куглица ће потонути на дно суда. На тело испод воде делује само сила теже и мала сила потиска. Након тога, узмемо теглу и покријемо потонулу куглицу. Ако полако померамо теглу нагоре, можемо је извући лагано и поново довести куглицу на површину воде (слика 47).



Слика 47. Вода не кваси восак [25]

Објашњење

Вода не кваси восак, па ће се око површине воска мало подићи течност. Сила која потиче од површинског напона вода-восак-ваздух имаће смер као и потисак и тако ће слабити силу теже. Ваздух који се налази у тегли створиће поново површински напон између воде, ваздуха и воска, и додаће се сили потиска па ће куглица поново изаћи на површину воде.

10.10. Оглед 10. Обојена салвета

(Циљ овог огледа је да се покажу ученицима последице капиларних појава и како оне утичу на ниво течности. Такође, помоћу овог огледа, приближиће им се начин храњења биљака из земље. Једна од лоших страна капиларности је појава влажења зидова на кућама.)

Потребан материјал:

- салвета
- обојена вода
- посуда

Извођење огледа:

Салвету умочимо у воду која је претходно обојена, али тако да само један крај поквасимо. Чим то урадимо приметићемо да салвета упија течност до неке висине која ни не додирује површину течности.(Слика 48)



Слика 48. Капиларна појава [25]

Објашњење

Услед појаве капиларности, порозне материје, у којима је читав сплет капила, потпуно се могу наквасити иако нису целом запремином у води. Такву структуру има и салвета. Узрок ове појаве се објашњава постојањем силе адхезије и кохезије (адхезија као сила између различитих молекула и кохезије као силе између молекула исте врсте).

11. Употреба мултимедија

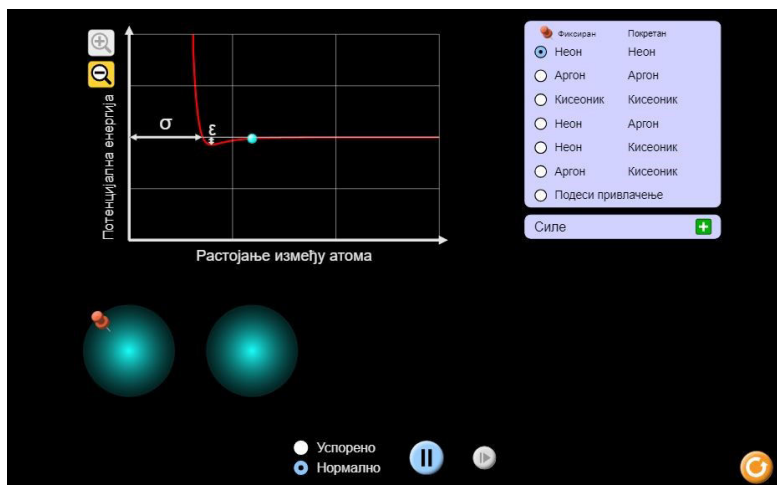
11.1. Компјутерске симулације

Симулације су одличне за развијање индивидуалних компетенција. Професор пре употребе ових симулација обавезно треба да:

- објасни ученицима шта треба да запажају и које појаве ће показати и проверити овим програмом,
- исправи грешке које су евентуално присутни у симулацији (грешке у преводу, мерне границе програма)
- објасни ученицима због чега је отворио програм да они знају о чему се ради, да се не играју бесмислено.

11.1.1. Атомске интеракције

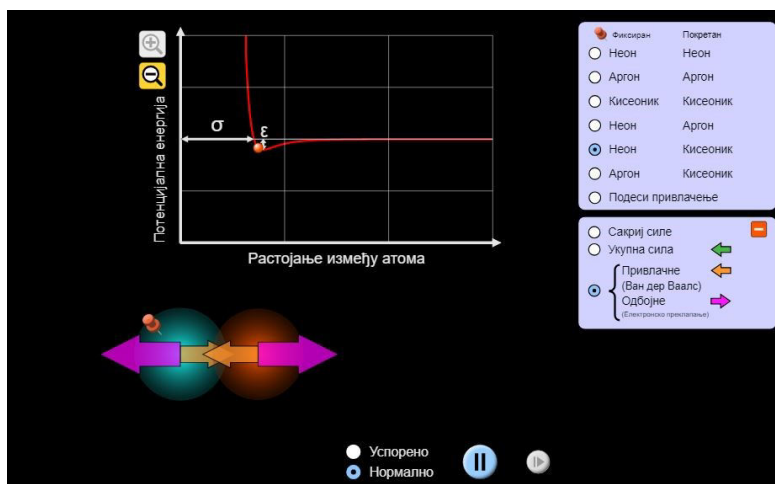
Уз помоћ ове симулације која се налази на сајту „PheT”-а могуће је на још један начин увидети како изгледа потенцијална крива и однос међумолекулске силе и растојања између молекула. На веома малим растојањима између молекула делују јаке одбојне силе. На слици 49 приказане су опције које је могуће подешавати.



Слика 49. Атомска интеракција – PheT симулација „Атомске интеракције” [28]

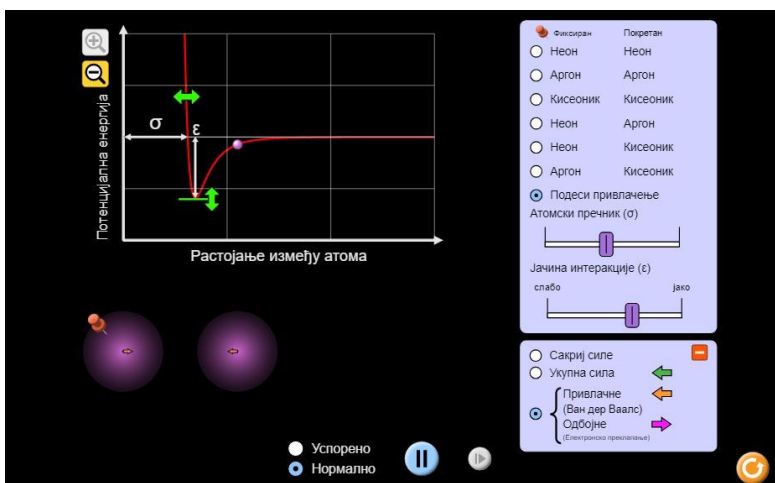
Уколико испитујемо интеракцију између два иста молекула, посматрамо како се понаша укупна сила, или засебно привлачне и одбојне, када се кликом на покретан атом започне његово кретање ка фиксираним атомима. Могуће је изабрати да се ради о два атома истог елемента или да се ради о два различита (Слика 50).

Дакле, за сваку интеракцију кад стиснемо на жељени избор фиксираних и покретног атома, на графику се мења вредност растојања између молекула и међумолекулске силе и на основу тога се посматра кретање покретног атома дуж потенцијалне криве, да ли ће приказ смера и правца сила бити приказан или не, могуће је по потреби палити/гасити.



Слика 50. Атомска интеракција – PheT симулација „Атомске интеракције” [28]

Доступна је и опција да се мануелно изабере атомски пречник атома σ и интензитет интеракције ϵ . (Слика 51). Након подешавања жељених параметара, симулација функционише на исти начин као што је описано у тексту изнад. Још једном можемо видети приказ кретања атома дуж потенцијалне криве, приказ правца и смера привлачних и одбојних сила и, наравно, графички приказ потенцијалне енергије у функцији растојања између молекула.



Слика 51. Атомска интеракција – PheT симулација „Атомске интеракције” [28]

11.1.2. Хуков закон

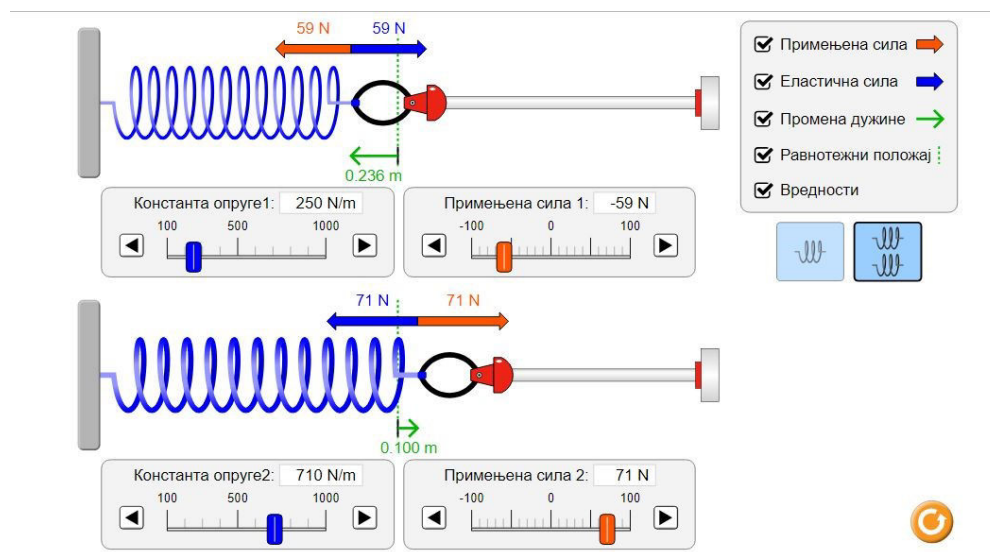
Симулација погодна као додатак настави везаној за Хуков закон, истезање, сабијање, еластичну силу је PheT симулација која носи назив „Хуков закон”.

Симулација даје могућност да се посматра једна опруга засебно или две независне полуге на којима је могуће задавати независне параметре пре покретања симулације. (Слика 52)

Постоји могућност мануелног подешавања константе опруге као и примењене силе. Распон који се може узети за константу опруге је између 100 и 1000 N/m, док је у случају примењене силе то распод од -100 до 100 N. На располагању је и низ „on-off” опција које могу употпунити приказ и доживљај шта се заправо све дешава при истезању неке опруге. Те опције су смер и правац примењене силе (наранџаста стрелица), смер и правац еластичне силе (плава стрелица), место равнотежног положаја (зелена испрекидана линија), промена дужине (зелена стрелица) и приказ вредности директно поред стрелица које означавају споменуте критеријуме.

Дакле, подешавањем параметара константе опруге и примењене силе, опруга се у извесној мери истегне или сабије и то буде приказано на екрану. Поред стрелица, уколико укључимо опцију „Приказ”, стајаће вредности датих сила и промене дужине.

Уколико ставимо да је примењена сила негативног знака, доћи ће до сабијања опруге и до промене дужине у смеру сабијања опруге, и супротно, уколико нам је вредност примењене силе позитивна, доћи ће до промене дужине услед истезања, и биће у смеру истезања, ма колико мале те промене биле.



Слика 52. Хуков закон – PheT симулација „Хуков закон” [29]

11.2. Видео експерименти

11.2.1. Испитивање вискозности течности

За овај експеримент, тестира како се све кликери могу понашати у зависности од врсте течности у коју се спуштају. Помоћу овог експеримента се на једноставан начин објашњава и мери вискозитет течности.

Материјал који које је коришћен при извођењу огледа:

- 4 чисте стаклене тегла исте запремине
- 4 кликера
- вода (довољно да попуни једну теглу)
- кукурузни сируп (довољно да попуни једну теглу)
- уље за кување (довољно да попуни једну теглу)
- мед (довољно да попуни једну теглу)

Ставе се четири тегле, једна до друге и редом се пуне. У прву теглу је сипана вода, у другу кукурузним сируп, у трећу уље за кување а у четврту мед. (Слика 53) Сада се пажљиво спусти по један кликер у сваку од посуда. Убацити кликере у сваку од тегли истовремено и посматрати шта се догађа с кликером када „уђе” у одређену течност. Ако овако поставимо овај оглед, лако можемо увидети који кликер брзо тоне на дно посуде, а ком треба више времена.



Слика 53. Видео експеримент – Вискозност течности [30]

Како овај оглед функционише? Најједноставније речено, вискозитет је мерило колико је течност „дебела”. Што је течност вискознија, односно гушћа, то ће бити потребно више времена да се објект креће кроз течност док не падне на дно. (Слика 54)



Слика 54. Видео експеримент – Вискозност течности [30]

Кликерима је требало дуже да потону када су били убачени у тегле испуњене кукурузним сирупом и медом, него што је то био случај када су убачене у тегле напуњене водом и уљем за кување. Овим је показано да су кукурузни сируп и мед вискознији од воде и уља за кување. Још једну проверу ове тврдње бисмо добили када бисмо након убацивања течности у тегле, покушали сада да истовремено течности из тегли једну по једну да проспемо. Видимо би се да је потребно више времена да се испразни тегла у којој су били кукурузни сируп и мед, него за просипање воде и уља за кување из тегли. Дакле, вискозност течности се може упоређивати и на основу тога колико се споро (или брзо) нека течност испразни из посуде у којој се налазила.

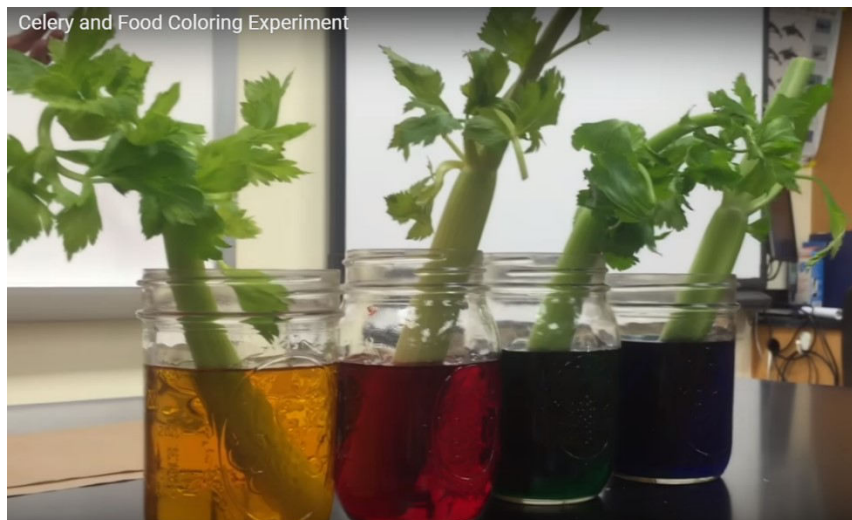
11.2.2. Шарени целер

У овом једноставном експерименту коришћен је целер како би се показала појава капиларности код биљака које црпе воду из земље.

Материјал који је коришћен при извођењу огледа:

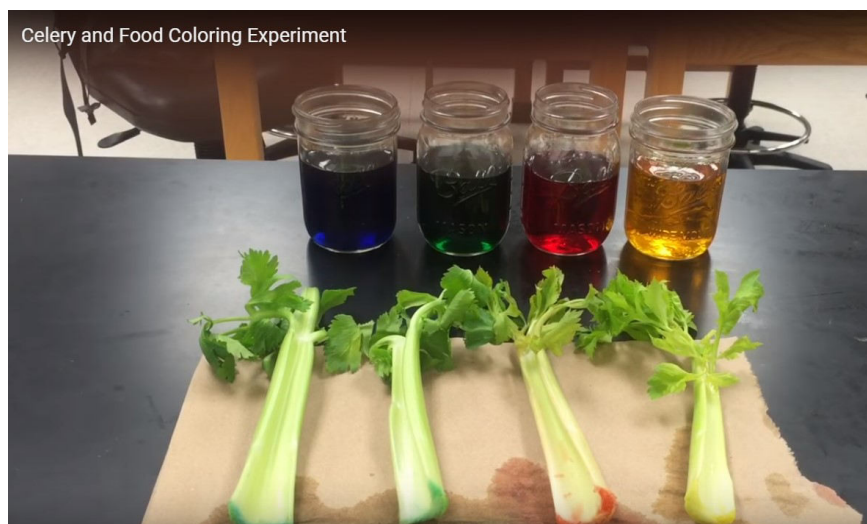
- стабљике целера
- боја за јело
- вода
- стаклене тегле
- маказе

Прво се сипа по неколико капи различитих боја за јело у сваку од тегли. Сипати по 10 капи у сваку. Изабрати стабљике које имају лепо развијено лишће и спремити за убацивање у тегле. Наравно, пре него што се дода целер у тегле, боју за јело добро измешати у теглама. Овде су редом сипане боје: жута, црвена, зелена и плава. (Слика 55)



Слика 55. Видео експеримент – Шарени целер [31]

Оставити целер у обојеним течностима бар пет сати. Што је дуже у обојеној води, више ће попримити боју воде. Када су извађени из воде, види се да су попримили боју течности у којој су били. (Слика 56)



Слика 56. Видео експеримент – Шарени целер [31]

Одмах се види да су се лиске и стабло целера обојили. Ово се дешава због чињенице да се дуж целера налазе ксилеми. Ксилеми су један од две врсте транспортних ткива код биљака и служе за транспост воде и хранљивих материја из земље до листова. Они се понашају као танке капиларе и захваљујући томе имају својство да се кроз њих вода пење до виших делова биљке.

11.2.3. Убрус који се сам боји

У овом једноставном експерименту коришћени су папирни убруси потопљени једним делом у воду како би се показале капиларне појаве, као и силе адхезије и кохезије које утичу на исход експеримента.

Материјал који је коришћен при извођењу огледа:

- 3 чаше једнаке запремине
- папирни убруси
- вода
- боје (плава и жута)

Припреме се два парчета убрус папира, пресавију се тако да буду око 5-6 cm широки. Још лакше ћемо ово постићи ако једноставно један лист убруса пресавијемо на пола, а затим поново на пола.

Када је ово урађено, убрус се остави са стране и прелази се на постављање чаша. У две чаше једнаке запремине супана је воду тако да буде приближно иста количина у свакој чаши – да буду до пола пуне, док је чаша у средини остала празна. Затим је у леву и десну чашу сипано пар капи боје за храну. У леву је стављено пар капи плаве боје, у десну пар капи жуте. (Слика 57) Воду у којој се налази боја за храну измешати како би се изједначила боја у целој чаши.



Слика 57. Видео експеримент – Убрус који се сам боји [32]

Узето је једно пресавијено парче убруса који је претходно припремљено. Поставили су га тако да је један крај папира у чаши с плавом водом, а други у чаши у средини у којој није сипана вода. Затим се друго парче пресавијеног убруса на исти начин ставило једним крајем у чашу са жутом водом, а другим у празну чашу у средини.

Одмах се може видети шта се дешава. Вода шета помоћу убруса из чаша водом до чаше у средини која је празна. Када овако одстоји неколико сати, још је евидентније шта се променило. Што дуже се чека, јачи је ефекат бојења папира и више воде се сели у чашу у средини. (Слика 58)



Слика 58. Видео експеримент – Убрус који се сам боји [32]

Вода ће престати да се „пребацује" у чашу у средини онда када ниво воде у све три чаше буде једнак. Зашто се вода креће између чаша? Изгледа као да вода пркоси гравитацију, али заправо она се креће на овај начин због процеса који се назива капиларна појава. Адхезионе силе које делују између молекула воде и папирног убруса су јаче од кохезионих сила унутар воде. Као резултат, вода путује преко папирног убруса из једне чаше у другу. Зашто промени боју воде? Када мешате две основне боје заједно, направиће се нова секундарна боја. Зато што су изабране плава и жута (две основне боје) за овај експеримент, обојена вода помешана у средњој чаши је зелена (секундарна боја направљена мешањем плаве и жуте).

Закључак

Упознавање деце са законима физике најчешће се врши вербалним методама, изолованим посматрањима појединих закона без везе са практичном применом и свакодневним животом. Тако у ствари физика остаје као неки изоловани појам, далеко од дечијег живота, за њих често несхватљив, па према томе туђ и досадан. Наспрам овог схватања, ако се у настави физичког образовања служимо, на пример, са одговарајућим мултимедијским средствима при приказивању експеримената, наше излагање биће интересантније и практичније. Експеримент у настави физици треба третирати као саставни део наставног процеса. Ученици више воле да знање стичу кроз непосредан рад на часу него када само слушају или немо посматрају. Применом демонстрационих и посебно, једноставних огледа, обогаћује се настава физике и у школама у којима се због недостатка наставних средстава физика своди више на вербална предавања.

Циљ овог рада је био да се прикаже, како се путем експерименталних вежби може учење учинити лакшим и занимљивијим. У овом раду посебна пажња је дата особинама течности и чврстих тела, и кроз низ експеримената показано како функционишу еластичне деформације, површински напон, термичко ширење и чврстих тела и течности, али и капиларне појаве и вискозност.

Још једном треба нагласити да експерименти у настави физике имају изузетну улогу и значај и да омогућују дубље разумевање појава, закона и теорија, да уводе ученике у практични рад и знатно увећавају интересовање за изучавање физике.

Литература

- [1] Наташа Чалуковић, Физика 2, уџбеник за 2. разред гимназије природно-математичког смера, Круг, Београд, 2015.
- [2] Распоповић Милан, Методика наставе физике, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1992.
- [3] Обадовић Душанка, Ранчић Ивана, Практикум једноставних експеримената у настави физике, УНС Природно-математички факултет-Департман за физику, Нови Сад, 2012.
- [4] Жижић Божидар, Курс опште физике, ИРО „Грађевинска књига“, Београд, 1988.
- [5] Капор Агнеш, Скубан Соња, Николић Драган, Експерименталне вежбе из термодинамике, УНС Природно-математички факултет-Департман за физику, Нови Сад, 2011.
- [6] Капор Агнеш, Скубан Соња, Николић Драган, Експерименталне вежбе из механике, УНС Природно-математички факултет-Департман за физику, Нови Сад, 2011.
- [7] Капор Агнеш, Скубан Соња, Станивук Љиљана, Демонстрациони експерименти у настави физике, УНС Природно-математички факултет-Департман за физику, Нови Сад, 2012.
- [8] Мр Латас Душко, Балаж Антун, Физика 7 - уџбеник са лабораторијским вежбама и задацима, Нови Логос, Београд, 2012.
- [9] Вилотијевић Младен, Вилотијевић Нада, Модели развијајуће наставе, Учитељски факултет, Универзитет у Београду, Београд, 2016.
- [10] Лазар Душан, Методика наставе физике – скрипта, Природно-математички факултет, Нови Сад, 2013.
- [11] https://ceo.edu.rs/wp-content/uploads/opsti_standardi/Fizika.pdf
- [12] <https://fizis.rs/гимназија/ii-разред/молекулске-силе-и-агрегатна-стања/molekulske-sile/>
- [13] <http://gcsephyschem.blogspot.com/2016/02/11-understand-arrangement-movement-and.html>
- [14] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=34004>
- [15] http://vezbanjemdoznanja.weebly.com/uploads/3/6/5/9/3659232/kristalne_reetke.pdf
- [16] <https://ironlady003.wordpress.com/2013/11/04/struktura-metala-i-legura-kristalna-resetka-metala/>
- [17] <https://sr.wikipedia.org/wiki/Co>
- [18] <http://fizis.rs/ii-разред/молекулске-силе-и-агрегатна-стања/elasticnost-cvrstih-tela-hukov-zakon/>
- [19] http://www.pmf.unsa.ba/fizika/images/nastavni_materijali/Biofizika/predavanja/4-Medjumolekularne%20sile.pdf
- [20] https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Shear_scherung.jpg
- [21] http://fisica.cubaeduca.cu/media/fisica.cubaeduca.cu/medias/interactividades/TEMAS/T-elastica/co/modulo_contenido_4.html
- [22] <https://www.gograph.com/illustration/water-model-of-the-molecular-composition-of-gg70294875.html>
- [23] https://sr.wikipedia.org/wiki/Kapilarne_pojava
- [24] <https://www.slideshare.net/ssuserbd3c9a/insekti-71227882>

- [25] [https://www.df.uns.ac.rs/files/200/aniko_banjari_-_diplomski_rad_\(d-586\).pdf](https://www.df.uns.ac.rs/files/200/aniko_banjari_-_diplomski_rad_(d-586).pdf)
- [26] <https://www.youtube.com/watch?v=iQigGLdSsUo>
- [27] Костић Живко, Између игре и физике, Техничка књига, Београд, 1962.
- [28] https://phet.colorado.edu/sims/html/atomic-interactions/latest/atomic-interactions_sr.html
- [29] https://phet.colorado.edu/sims/html/hookes-law/latest/hookes-law_sr.html
- [30] <http://coolscienceexperimentshq.com/viscosity-of-a-liquid-experiment/>
- [31] <https://www.youtube.com/watch?v=PdQsvW7QjIM>
- [32] <http://coolscienceexperimentshq.com/color-changing-walking-water/>

Прилог 1

Глобални план за физику за гимназију природно-математичког смера (3 часа недељно, 108 часова годишње)

Р.бр нас. теме	Наставне теме	Број часова			Укупно часова
		Обрада	Утврђивање, обнављање, систематизација, рачунске вежбе	Лабораторијске вежбе	
1.	Молекулско-кинетичка теорија гасова Наставне јединице 1. Увод (молекули, кретање молекула). Расподела молекула гаса по брзинама. Дифузија (квалитативно). (Р) Мерење највероватније брзине молекула гаса. Средњи слободни пут молекула гаса. (О) 2. Модел идеалног гаса. Притисак гаса. Температура. (П) 3. Једначина стања идеалног гаса. Изопроцеси и гасни закони. (П) Гасни термометар. (О) Лабораторијска вежба Провера Бојл-Мариотовог закона.	8	7	2	17
2.	Термодинамика Наставне јединице 1. Унутрашња енергија. Топлотна размена и количина топлоте. Први принцип термодинамике (П). 2. Рад при ширењу гаса. Примена I принципа термодинамике на изопроцесе у идеалном гасу. Топлотне капацитативности. Адијабатски процес. (П)	12	10		22

Р.бр нас. теме	Наставне теме	Број часова			Укупно часова
		Обрада	Утврђивање, обнављање, систематизација, рачунске вежбе	Лабораторијске вежбе	
	3. Повратни и неповратни процеси. (Р) 4. Други принцип термодинамике. Статистички смисао II принципа. (Р) 5. Ентропија. (О) 6. Основни принцип топлотних мотора и уређаја за хлађење. Коефицијент корисног дејства. Карноов циклус. (П)				
3.	Основи динамике флуида Наставне јединице 1. Физички параметри идеалног флуида при кретању. Једначина континуитета. (П) 2. Бернулијева једначина. Примене Бернулијеве једначине. (П) Лабораторијска вежба Вентуријева цев.	3	3	2	8
4.	Молекулске силе и агрегатна стања Наставне јединице 6. Молекулске силе. (Р) Топлотно ширење чврстих тела и течности. (П) 7. Структура чврстих тела (кристали). (Р) Еластичност чврстих тела, Хуков закон. (П) 8. Вискозност у течности, Њутнов и Стоксов закон. Површински напон течности и капиларност. (П) 9. Испаравање и кондензовање, засићена пара, кључање. Топљење и очвршћавање. Испаравање кристала и сублимација. Дијаграми прелаза. (Р)	9	7	4	20

Р.бр нас. теме	Наставне теме	Број часова			Укупно часова
		Обрада	Утврђивање, обнављање, систематизација, рачунске вежбе	Лабораторијске вежбе	
	10. Промене унутрашње енергије при фазним прелазима. Једначина топлотног баланса. (П) Лабораторијске вежбе - Одређивање модула еластичности жице - Мерење коефицијента површинског напона				
5.	Електростатика Наставне јединице 1. Кулонов закон. Јачина електричног поља. Линије силе. Електрични флукс. (П) 2. Потенцијална енергија електростатичке интеракције. Рад у електричном пољу. Потенцијал поља и електрични напон. (П) Еквипотенцијалне површи. Веза јачине поља и потенцијала. (Р) 3. Проводник у електричном пољу. Електростатичка заштита. (П) 4. Електрични дипол, деловање електричног поља на дипол. Диелектрик у електричном пољу. (Р) Јачина поља у диелектрику. (П) 5. Електрична капацитативност. Кондензатори и њихово везивање. Енергија електричног поља у кондензатору. (П) Запреминска густина	10	9		19

Р.бр нас. теме	Наставне теме	Број часова			Укупно часова
		Обрада	Утврђивање, обнављање, систематизација, рачунске вежбе	Лабораторијске вежбе	
	енергије електричног поља. (Р)				
6.	Стална електрична струја Наставне јединице 1. Извори електричне струје и електромоторна сила. Јачина и густина струје. (П) 2. Омов закон за проводник. Електрична отпорност проводника, везивање отпорника. (П) 3. Џул-Ленцов закон. Омов закон за коло. Кирхофова правила. (П) 4. Електрична проводљивост метала. Омов и Џулов закон на основу електронске теорије проводљивости метала. (Р) Контактни потенцијали. Термоелектричне појаве. (О) 5. Електрична струја у електролитима. Омов закон и проводљивост електролита. Фарадејеви закони електролизе. (Р) 6. Термоелектронска емисија. Катодна цев. (Р) 7. Електрична струја у гасовима. Врсте пражњења у гасовима. (Р) Плазма (О). Лабораторијске вежба - Провера Омовог закона. - Мерење отпора Витстоновим мостом.	9	9	4	22
	УКУПНО	51	45	12	108

Први ниво: обавештеност (О) Други ниво: разумевање (Р) Трећи ниво: примена (П)

Кратка биографија



Радмила Николић рођена је 1. априла 1992. године у Шапцу. Завршила је основну школу „Милева Косовац“ у Шапцу 2007. године, и исте године уписује друштвено-језички смер Шабачке гимназије. Шабачку гимназију завршава 2011. године. Уписује основне академске студије на Департману за физику (смер професор физике) на Природно-математичком факултет у Новом Саду, које завршава 2017. године. Исте године уписује мастер студије – мастер професор физике, на истом факултету.

Од септембра 2018. године запослена у основној школи у Марадику.

Кључна документацијска информација

Редни број:

РБР

Идентификациони број:

ИБР

Тип документације:

Монографска документација

ТД

Тип записа:

Текстуални и штампани материјал

ТЗ

Врста рада:

Мастер рад

ВР

Аутор:

Радмила Николић

АУ

Ментор:

Др Соња Скубан, ванредни професор Природно-математичког факултета у Новом Саду

МН

Наслов рада:

Молекулска теорија чврстих тела и течности кроз експерименте у гимназији

НР

Језик публикације:

српски (ћирилица)

ЈП

Језик извода:

српски/енглески

ЈИ

Земља публикације:

Србија

ЗП

Уже географско подручје:

Војводина

УГП

Година:

2018.

ГО

Издавач:

Ауторски репринт

ИЗ

Место и адреса:

Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 4, Нови Сад

МА

Физички опис рада:

11 поглавља/91 страница/63 слике и графика/9 табела/32 референце

ФО

Научна област:

Физика

НО

Научна дисциплина:

Методика наставе физике

НД

Предметне одредница/кључне речи:

Физика, молекулска физика, чврста тела, течности, настава, експерименти, средња школа, гимназија

ПО**УДК**

Чува се:

Библиотека департмана за физику, ПМФ-а у Новом Саду

ЧУ

Важна напомена:

нема

ВН

Извод:

ИЗ

У раду је направљен теоријски увод за наставне једиције у оквиру теме „Молекулска теорија чврстих тела и течности”. Поред теоријски обрађених лекција, дате су и лабораторијске вежбе, једноставни, демонстрациони и мултимедијални експерименти прикладни за рад у настави физике са ученицима другог разреда гимназије.

Датум прихватања теме од НН већа:

24.10.2018.

ДП

Datum odbrane:

30.10.2018.

ДО

Чланови комисије:

КО

Председник:

Др Мирјана Шиљеговић, доцент Природно-математичког факултета у Новом Саду

члан:

Др Ивана Богдановић, доцент Природно-математичког факултета у Новом Саду

члан:

Др Соња Скубан, ванредни професор Природно-математичког факултета у Новом Саду

Key words documentation

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Master thesis

CC

Author:

Radmila Nikolić

AU

Mentor/comentor:

Ph. D. Sonja Skuban, associate professor at Faculty of Sciences University of Novi Sad

MN

Title:

Experimental and demonstration exercises in treating topic „Molecular theory of solids and liquids” in physics in high school

TI

Language of text:

Serbian (Cyrilic)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2018

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

12. Physical description:

11 chapters/ 91 pages/ 63 pictures and graphics/ 9 tables/ 32 references

13. PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Methodology of physics teaching

SD

Subject/ Key words:

Physics, molecular physics, solids, liquids, teaching, experiments, high school

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

In paper, the topic, „Molecular theory of solids and liquids” is treated in both theoretical and experimental way. There are examples of lab experiments, demonstrations, simple and computer experiments that are appropriated for second-graders in high schools in Serbia.

AB

Accepted by the Scientific Board:

24th of October 2018.

ASB

Defended on:
DE

30th of October 2018.

Thesis defend board:
DB

President:

Ph. D. Mirjana Šiljegović, assistant professor at Faculty of Sciences
University of Novi Sad

Member:

Ph. D. Ivana Bogdanović, assistant professor at Faculty of Sciences
University of Novi Sad

Member:

Ph. D. Sonja Skuban, associate professor at Faculty of Sciences University
of Novi Sad