

Maturitní otázky fyzika

Martin Ptáček

Duben 2020

Obsah

1	Kinematika	22
1.1	Charakteristika	22
1.2	Hmotný bod	22
1.3	Relativnost klidu a pohybu	22
1.3.1	Klid a pohyb	22
1.3.2	Relativnost	22
1.3.3	Vztažná soustava	22
1.3.4	Polohový vektor	22
1.4	Základní pojmy kinematiky	22
1.4.1	Trajektorie	22
1.4.2	Dráha	22
1.5	Rychlost	23
1.5.1	Definice	23
1.5.2	Průměrná rychlost	23
1.5.3	Okamžitá rychlost	23
1.6	Zrychlení	23
1.6.1	Definice	23
1.6.2	Tečné zrychlení	23
1.6.3	Normálové zrychlení	23
1.7	Rozdělení pohybů dle rychlostí	24
1.8	Rovnoměrný přímočarý pohyb	24
1.8.1	Definice	24
1.8.2	Výpočet dráhy	24
1.9	Rovnoměrně zrychlený pohyb	24
1.9.1	Definice	24
1.9.2	Výpočet okamžité rychlosti	24
1.9.3	Výpočet dráhy	25
1.10	Rovnoměrně zpomalený pohyb	25
1.10.1	Definice	25
1.10.2	Výpočet okamžité rychlosti	25
1.10.3	Výpočet dráhy	25
1.11	Rovnoměrný pohyb po kružnici	25
1.11.1	Definice	25
1.11.2	Průvodič	25
1.11.3	Úhlová dráha	26
1.11.4	Úhlová rychlost	26
1.11.5	Perioda	26
1.11.6	Frekvence	26
1.11.7	Okamžitá rychlost	26
1.11.8	Dostředivé zrychlení	27
1.12	Skládání pohybů a rychlostí	27
1.12.1	Charakteristika	27
1.12.2	Princip nezávislosti pohybů	27
1.12.3	Zákon skládání rychlostí	27
1.13	Volný pád	27

1.13.1	Popis	27
1.13.2	Vzorce	27
2	Dynamika	28
2.1	Charakteristika dynamiky	28
2.1.1	Mechanický obraz světa	28
2.2	Síla	28
2.2.1	Charakteristika	28
2.2.2	Účinky síly	28
2.2.3	Základní interakce	28
2.2.4	Grafické znázornění síly	28
2.3	Třecí síla	29
2.3.1	Charakteristika	29
2.3.2	Příčiny vzniku	29
2.3.3	Výpočet	29
2.3.4	Druhy tření	29
2.3.5	Klidové tření	29
2.3.6	Výpočet klidového tření	29
2.3.7	Závislost smykového tření	29
2.3.8	Působíště třecí síly	30
2.3.9	Valivý odpor	30
2.3.10	Velikost valivého odporu	30
2.3.11	Zmenšování tření	30
2.3.12	Zvětšování tření	30
2.4	Motivace pro Newtonovy zákony	30
2.4.1	Izolované těleso	30
2.4.2	Model izolovaného tělesa	30
2.4.3	Izolovaný hmotný bod	30
2.5	Newtonův zákon setrvačnosti	31
2.5.1	Znění	31
2.5.2	Vztažná soustava	31
2.5.3	Inerciální vztažná soustava	31
2.5.4	Neinerciální vztažná soustava	31
2.6	Newtonův zákon síly	31
2.6.1	Znění	31
2.6.2	Pohybová rovnice	31
2.6.3	Vztah se změnou hybnosti	31
2.7	Newtonův zákon akce a reakce	32
2.7.1	Znění	32
2.8	Hybnost hmotného bodu	32
2.8.1	Definice	32
2.8.2	Impuls hybnosti	32
2.8.3	Zákon zachování hybnosti	32
2.8.4	Zákon zachování hmotnosti	32
2.9	Galileiho princip relativity	32
2.9.1	Znění	32
2.9.2	Inerciální vztažné soustavy	33

2.10	Neinerciální vztažné soustavy	33
2.10.1	Definice	33
2.10.2	Příklady neinerciálních soustav	33
2.10.3	Setrvačné síly	33
2.10.4	Odstředivá síla	33
2.10.5	Moment hybnosti	33
2.10.6	Věta o momentu hybnosti	34
2.10.7	Zákon zachování momentu hybnosti	34
3	Gravitační pole	35
3.1	Charakteristika gravitačního pole	35
3.2	Newtonův gravitační zákon	35
3.2.1	Znění	35
3.2.2	Výpočet gravitační síly	35
3.2.3	Gravitační konstanta	35
3.2.4	Závislosti	35
3.3	Intenzita gravitačního pole	35
3.3.1	Charakteristika	35
3.3.2	Souvislost s gravitačním zrychlením	36
3.3.3	Centrální gravitační pole	36
3.3.4	Homogenní gravitační pole	36
3.4	Tíhová síla	36
3.4.1	Motivace k tíhové síle	36
3.4.2	Tíhové zrychlení	36
3.5	Pohyby těles v homogenním tíhovém poli	36
3.6	Volný pád	37
3.6.1	Charakteristika	37
3.6.2	Vzorce	37
3.7	Svislý vrh vzhůru	37
3.7.1	Charakteristika	37
3.7.2	Rychlost a okamžitá výška	37
3.7.3	Výška a rychlost výstupu	37
3.7.4	Doba výstupu a pádu	37
3.8	Šikmý vrh	38
3.8.1	Charakteristika	38
3.8.2	Závislost délky vrhu	38
3.9	Pohyby těles v centrálním tíhovém poli	38
3.9.1	Kruhová rychlost	38
3.9.2	Parabolická rychlost	38
3.9.3	Třetí kosmická rychlost	38
3.10	Keplerovy zákony	39
3.10.1	Charakteristika	39
3.10.2	1. Keplerův zákon	39
3.10.3	2. Keplerův zákon	39
3.10.4	3. Keplerův zákon	39

4	Mechanika tuhého tělesa, kapalin a plynů	40
4.1	Tuhé těleso	40
4.1.1	Definice	40
4.1.2	Druhy pohybů	40
4.2	Moment síly	40
4.2.1	Charakteristika	40
4.2.2	Směr momentu síly	40
4.2.3	Výpočet momentu síly	40
4.2.4	Rameno síly	40
4.2.5	Výsledný moment sil	40
4.2.6	Momentová věta	41
4.2.7	Příklad	41
4.3	Dvojice sil	41
4.3.1	Charakteristika	41
4.3.2	Moment dvojice sil	41
4.3.3	Výpočet momentu dvojice sil	41
4.4	Těžiště tělesa	41
4.4.1	Charakteristika	41
4.4.2	Určení	41
4.4.3	Těžnice	42
4.5	Rovnovážná poloha tělesa	42
4.5.1	Charakteristika	42
4.5.2	Rovnovážná poloha stálá	42
4.5.3	Rovnovážná poloha vratká	42
4.5.4	Rovnovážná poloha volná	42
4.5.5	Stabilita tělesa	42
4.6	Kinetická energie	43
4.6.1	Charakteristika	43
4.6.2	Kinetická energie posuvného pohybu	43
4.6.3	Kinetická energie otáčivého pohybu	43
4.6.4	Moment setrvačnosti	43
4.6.5	Steinerova věta	43
4.7	Vlastnosti kapalin a plynů	44
4.7.1	Společné vlastnosti	44
4.7.2	Rozdílné vlastnosti	44
4.8	Dokonalá kapalina a dokonalý plyn	44
4.8.1	Dokonalá kapalina	44
4.8.2	Dokonalý plyn	44
4.9	Tlak	44
4.9.1	Charakteristika	44
4.9.2	Výpočet	44
4.9.3	Vznik tlaku v tekutinách	44
4.9.4	Pascalův zákon	45
4.9.5	Hydraulické zařízení	45
4.9.6	Hydrostatický tlak	45
4.9.7	Spojené nádoby	45
4.9.8	Hydrostatický paradox	45

4.9.9	Atmosférický tlak a Torricelliho pokus	45
4.9.10	Měření atmosférického tlaku	45
4.10	Vztlková síla v kapalinách	46
4.10.1	Vztlková síla	46
4.10.2	Odvození	46
4.10.3	Archimédův zákon	46
4.10.4	Chování těles v kapalině	46
4.11	Proudění kapalin	46
4.11.1	Proudění kapaliny	46
4.11.2	Proudnice	47
4.12	Rovnice kontinuity	47
4.12.1	Objemový průtok	47
4.12.2	Rovnice kontinuity	47
4.13	Bernoulliho rovnice	47
4.13.1	Popis	47
4.13.2	Motivace k Bernoulliho rovnici	47
4.13.3	Výpočet potenciální tlakové energie	47
4.13.4	Bernoulliho rovnice	48
4.13.5	Důsledky bernoulliho rovnice	48
4.13.6	Hydrodynamický paradox	48
4.13.7	Torricelliho vzorec pro výtokovou rychlost	49
5	Maturitní otázka číslo 5	50
6	Struktura a Vlastnosti plynů	51
6.1	Ideální plyn	51
6.2	Střední kvadratická rychlost	51
6.3	Střední kinetická energie	51
6.4	Tlak plynu	51
6.5	Stavová rovnice ideálního plynu	51
6.5.1	Stavové veličiny	51
6.5.2	Stavová rovnice	51
6.6	Izotermický děj	51
6.7	Izochorický děj	51
6.8	Izobarický děj	51
6.9	Adiabatický děj	51
6.10	Práce konaná plynem	51
6.10.1	Práce při stálém tlaku	51
6.10.2	Práce při proměnném tlaku	51
6.11	Kruhový děj	51
6.12	2. Termodynamický zákon	51
6.12.1	51
6.13	Perpetuum mobile	51
6.13.1	Perpetuum mobile prvního druhu	51
6.13.2	Perpetuum mobile druhého druhu	51
6.14	Tepelné motory	51
7	Maturitní otázka číslo 7	52

8	Změny skupenství látek	53
8.1	Skupenství	53
8.1.1	Charakteristika	53
8.1.2	Dělení	53
8.1.3	Fáze	53
8.2	Změna skupenství	53
8.2.1	Formulace	53
8.2.2	Jednotlivé změny skupenství	53
8.3	Tání a tuhnutí	54
8.3.1	Formulace	54
8.3.2	Skupenské teplo tání	54
8.3.3	Měrné skupenské teplo tání	54
8.3.4	Tuhnutí	54
8.3.5	Tání krystalické a amorfni látky	54
8.3.6	Křivka tání	54
8.3.7	Změna objemu látky při tání a tuhnutí	54
8.4	Sublimace a desublimace	54
8.4.1	Formulace sublimace a desublimace	54
8.4.2	Příklady sublimace	55
8.4.3	Skupenské teplo	55
8.5	Měrné skupenské teplo	55
8.5.1	Příklady desublimace	55
8.6	Vypařování	55
8.6.1	Formulace	55
8.6.2	Kapalina v uzavřené nádobě	55
8.6.3	Rozdíly proti varu	55
8.6.4	Skupenské teplo	55
8.6.5	Měrné skupenské teplo	56
8.6.6	Závislost rychlosti vypařování	56
8.7	Var	56
8.7.1	Formulace	56
8.7.2	Měrné skupenské teplo varu	56
8.7.3	Rozdíly proti vypařování	56
8.7.4	Teplota varu	56
8.8	Kondenzace	56
8.8.1	Formulace	56
8.8.2	Skupenské teplo a Měrné skupenské teplo	57
8.8.3	Význam v praxi	57
8.9	Sytá pára	57
8.9.1	Formulace	57
8.9.2	Tlak syté páry	57
8.9.3	Závislost tlaku syté páry	57
8.9.4	Křivka syté páry	57
8.10	Fázový diagram	57
8.10.1	Popis	57
8.10.2	Zobrazení rovnovážných stavů	57
8.10.3	Popis křivek	57

8.10.4	Trojný bod	58
8.10.5	Kritický bod	58
8.10.6	Přehřátá pára	58
8.10.7	Podchlazená pára	58
8.11	Vodní pára v atmosféře	58
8.11.1	Absolutní vzdušná vlhkost	58
8.11.2	Relativní vzdušná vlhkost	58
8.11.3	Rosný bod	58
8.11.4	Teplota rosného bodu	58
9	Kmitání mechanického oscilátoru	59
9.1	Mechanický oscilátor	59
9.1.1	Formulace	59
9.1.2	Příklady	59
9.1.3	Časový diagram	59
9.1.4	Kmit	59
9.1.5	Kyv	59
9.1.6	Perioda a frekvence	59
9.1.7	Okamžitá výchylka	59
9.1.8	Amplituda výchylky	60
9.2	Harmonický kmitavý pohyb	60
9.2.1	Formulace	60
9.2.2	Časový diagram	60
9.2.3	Rovnice pro výchylku	60
9.2.4	Rovnice pro rychlost	60
9.2.5	Rovnice pro zrychlení	60
9.3	Fáze kmitavého pohybu	60
9.3.1	Formulace	60
9.3.2	Rovnice	61
9.3.3	Počáteční fáze	61
9.3.4	Fázový rozdíl	61
9.4	Složené kmitání	61
9.4.1	Charakteristika	61
9.4.2	Skládání kmitání stejné frekvence	61
9.4.3	Rázy	61
9.5	Pohybová rovnice	62
9.5.1	Definice	62
9.6	Závaží na pružině	62
9.6.1	Tuhost pružiny	62
9.6.2	Pohybová rovnice závaží na pružině	62
9.6.3	Parametry pružinového oscilátoru	62
9.6.4	Vlastní kmitání	62
9.6.5	Odvození vlastní úhlové rychlosti	62
9.6.6	Perioda a frekvence	63
9.7	Kyvadlo	63
9.7.1	Definice	63
9.7.2	Matematické kyvadlo	63

9.7.3	Příčina pohybu a parametry kyvadla	63
9.7.4	Úhlová frekvence matematického kyvadla	63
9.7.5	Perioda a frekvence	63
9.7.6	Odvození	64
9.7.7	Využití	64
9.8	Přeměny energie	64
9.8.1	Charakteristika	64
9.8.2	Pružinový oscilátor	64
9.8.3	Krajní hodnoty	65
9.9	Nucené kmitání	65
9.9.1	Charakteristika	65
9.9.2	Vznik	65
9.10	Rezonance	65
9.10.1	Charakteristika	65
9.10.2	Rezonanční křivka	65
9.10.3	Příklady rezonance	65
10	Mechanické vlnění	66
10.1	Charakteristika mechanického vlnění	66
10.1.1	Podstata vlnění	66
10.1.2	Pružné prostředí	66
10.1.3	Vznik vlnění	66
10.1.4	Vlnová délka	66
10.2	Rozdělení vlnění	66
10.2.1	Vlnění postupné příčné	67
10.2.2	Vlnění postupné podélné	67
10.2.3	Vlnění stojaté příčné	67
10.2.4	Vlnění stojaté podélné	67
10.3	Rovnice postupné vlny	67
10.4	Interference vlnění	67
10.5	Odraz vlnění	67
10.6	Huygensův princip	67
10.7	Akustika	67
10.7.1	Ultrazvuk	67
10.7.2	Infrazvuk	67
11	Elektrický náboj a elektrické pole	68
11.1	Elektrický náboj	68
11.1.1	Charakteristika	68
11.1.2	Elementární náboj	68
11.1.3	Volný náboj	68
11.1.4	Vodiče	68
11.1.5	Izolanty	68
11.1.6	Zákon zachování elektrického náboje	68
11.2	Elektroskop	68
11.2.1	Charakteristika	68
11.2.2	Princip	69

11.2.3	Elektrometr	69
11.3	Coulombův zákon	69
11.3.1	Znění	69
11.3.2	Závislost elektrické síly	69
11.3.3	Permitivita	69
11.3.4	Relativní permitivita	69
11.3.5	Permitivita vakua	69
11.4	Elektrické pole	70
11.4.1	Charakteristika	70
11.5	Intenzita elektrického pole	70
11.5.1	Definice	70
11.5.2	Určení směru	70
11.5.3	Síločáry	70
11.5.4	Homogenní pole	70
11.5.5	Intenzita v homogenním poli	70
11.5.6	Radiální pole	70
11.5.7	Intenzita v radiálním poli	71
11.6	Elektrický potenciál	71
11.6.1	Potenciální energie	71
11.6.2	Charakteristika	71
11.6.3	Potenciál v radiálním poli	71
11.6.4	Ekvipotenciální plocha	71
11.6.5	Napětí	71
11.6.6	Práce elektrických sil	72
11.6.7	Elektrický potenciál homogenního elektrického pole	72
11.6.8	Důkaz vzorce pro intenzitu homogenního pole	72
11.7	Vodič v elektrickém poli	72
11.7.1	Plošná hustota náboje	72
11.7.2	Plošná hustota náboje pro kouli	72
11.7.3	Elektrostatická indukce	73
11.8	Izolant v elektrickém poli	73
11.8.1	Atomová dielektrika	73
11.8.2	Orientační polarizace	73
11.9	Kapacita vodiče	73
11.9.1	Motivace ke kapacitě	73
11.9.2	Charakteristika	73
11.9.3	Definice jednotky	73
11.9.4	Kapacita kulového vodiče	73
11.10	Kapacita deskového kondenzátoru	74
11.10.1	Popis kondenzátoru	74
11.10.2	Druh pole	74
11.10.3	Výpočet kapacity	74
11.10.4	Vliv dielektrika	74
11.10.5	Paralelní zapojení	74
11.10.6	Sériové zapojení	74
11.10.7	Energie kondenzátoru	74

12 Vznik elektrického proudu, elektrický proud v kovech	75
12.1 Elektrický proud jako děj	75
12.1.1 Motivace	75
12.1.2 Formulace	75
12.1.3 Směr dohodou	75
12.1.4 Elektrický proud jako veličina	75
12.1.5 Vztah	75
12.2 Svorkové napětí zdroje	75
12.2.1 Definice	75
12.3 Práce elektrostatických sil	75
12.3.1 Charakteristika	75
12.3.2 Vztah	76
12.3.3 Práce neelektrostatických sil uvnitř zdroje	76
12.4 Elektromotorické napětí	76
12.4.1 Charakteristika	76
12.4.2 Vztah	76
12.4.3 Svorkové napětí nezátíženého zdroje	76
12.5 Zdroje stejnosměrného napětí	76
12.6 Ohmův zákon	77
12.6.1 Znění	77
12.6.2 Elektrická vodivost	77
12.6.3 Vztah	77
12.6.4 Voltampérová charakteristika	77
12.7 Elektrický odpor	77
12.7.1 Definice	77
12.7.2 Vztah	77
12.7.3 Elektrický odpor vodiče	77
12.7.4 Měrný elektrický odpor	78
12.7.5 Závislost odporu na teplotě	78
12.8 Rezistor	78
12.8.1 Charakteristika	78
12.8.2 Reostat	78
12.8.3 Sériové zapojení	78
12.8.4 Paralelní zapojení	78
12.9 Ohmův zákon pro uzavřený obvod	78
12.9.1 Motivace	78
12.9.2 Znění	79
12.9.3 Vztah pro svorkové napětí	79
12.9.4 Zkrat	79
12.9.5 Zatěžovací charakteristika zdroje	79
12.9.6 Rozdělení zdrojů na měkké a tvrdé	79
12.10 Kirchhoffovy zákony	79
12.10.1 Popis	79
12.10.2 První kirchhoffův zákon	80
12.10.3 Druhý kirchhoffův zákon	80
12.10.4 Druhý kirchhoffův zákon vzorcem	80
12.10.5 Druhý kirchhoffův zákon použití	80

12.11	Elektrická práce	80
12.11.1	Definice	80
12.11.2	Odvození vztahu pro práci	80
12.11.3	Jouleovo teplo	80
12.12	Výkon elektrického proudu	81
12.12.1	Výkon	81
12.12.2	Účinnost spotřebiče	81
12.12.3	Účinnost zdroje	81
13	Elektrický proud v polovodičích, kapalinách a plynech	82
14	Stacionární magnetické pole	83
14.1	Charakteristika	83
14.1.1	Popis a jednotka	83
14.1.2	Zdroje	83
14.2	Magnety	83
14.2.1	Výroba	83
14.2.2	Popis	83
14.2.3	Země	83
14.3	Vodič s proudem	83
14.3.1	Popis	83
14.3.2	Magnetické indukční čáry	84
14.4	Magnetické pole	84
14.4.1	Charakteristika	84
14.4.2	Magnetická síla	84
14.4.3	Homogenní magnetické pole	84
14.5	Magnetická indukce pole přímého vodiče	84
14.6	2 rovnoběžné vodiče s proudem	84
14.7	Magnetické pole cívky	84
14.7.1	Popis	84
14.7.2	Využití	85
14.8	Částice s nábojem v magnetickém poli:	85
14.8.1	Flemingovo pravidlo	85
14.8.2	Lorenzova síla	85
14.9	Magnetické vlastnosti látek	85
14.9.1	Dělení látek	85
14.9.2	Látky diamagnetické	85
14.9.3	Látky paramagnetické	85
14.9.4	Látky feromagnetické	86
14.9.5	Magnetizace feromagnetických látek	86
14.9.6	Dělení feromagnetických látek	86
14.9.7	Vlastnosti feromagnetických látek	86
14.9.8	Curiova teplota	86
14.10	Využití elektromagnetů	86

15 Nestacionární magnetické pole	87
15.1 Charakteristika	87
15.2 Zdroje	87
15.3 Pokus s magnetem a cívkou	87
15.3.1 Popis	87
15.3.2 Důsledek	87
15.4 Pokus se 2 cívkami na společném jádře	87
15.4.1 Popis	87
15.4.2 Průběh	87
15.5 Magnetický indukční tok	87
15.5.1 Charakteristika	87
15.5.2 Změna magnetického indukčního toku s časem	88
15.6 Faradayův zákon elektromagnetické indukce	88
15.7 Indukovaný proud	88
15.7.1 Popis	88
15.7.2 Vysvětlení	88
15.7.3 Lenzův zákon	88
15.7.4 Využití	89
15.8 Pokus s paralelně zapojenými žárovkami	89
15.8.1 Popis	89
15.8.2 Příčina	89
15.8.3 Vlastní indukce u cívky	89
15.9 Přechodný děj	89
15.9.1 Popis	89
15.9.2 Praktický význam	90
15.10 Energie magnetického pole cívky	90
16 Střídavý elektrický proud	91
16.1 Charakteristika	91
16.2 Elektrické obvody se střídavým proudem	91
16.2.1 Elektrotechnické součástky v elektrickém obvodu	91
16.2.2 Jednoduchý elektrický obvod s rezistorem	91
16.3 Výkon v obvodě se střídavým proudem	92
16.3.1 Výkon	92
16.3.2 Práce	93
16.4 Efektivní hodnoty pro střídavý proud	93
16.5 Obvody se změnou fáze napětí a proudu	93
16.5.1 Obvod s cívkou	93
16.5.2 Induktance cívky	94
16.5.3 Obvod s kondenzátorem	94
16.5.4 Kapacitance kondenzátoru	94
16.6 Výkon ve složitějším obvodě se střídavým proudem	95
16.7 Generátor střídavého proudu	95
16.8 Transformátor	95
16.8.1 Charakteristika	96
16.8.2 Složení transformátoru	96
16.8.3 Další popis transformátoru	96

16.8.4	Využití	96
16.9	Přenosová soustava	96
17	Elektromagnetické vlnění a kmitání	97
17.1	LC obvod	97
17.1.1	Charakteristika	97
17.2	Děje v LC obvodu	97
17.2.1	Závislost napětí v LC obvodu na čase	98
17.2.2	Odpor v LC obvodu	98
17.2.3	Perioda kmitání LC obvodu	98
17.2.4	Napětí a proud v LC obvodu	99
17.2.5	Analogie k mechanickému oscilátoru	99
17.2.6	Nucené kmitání Elektromagnetického oscilátoru	100
17.2.7	Odpor obvodu a rezonanční křivka	100
17.2.8	Rezonance	100
17.3	Elektromagnetické vlnění	100
17.3.1	Vznik	101
17.3.2	Dvou vodičové vedení	101
17.3.3	Popis	101
17.3.4	Vysoké frekvence zdroje ve dvou vodičovém vedení	101
17.3.5	Vedení naprázdno	102
17.4	Vlastnosti elektromagnetického vlnění	102
18	Maturitní otázka číslo 18	104
19	Maturitní otázka číslo 19	105
20	Kvantová fyzika	106
20.1	Atomismus	106
20.1.1	Charakteristika mikrosvěta	106
20.1.2	Atomismus	106
20.2	Thomsonův model atomu	106
20.3	Millikanův pokus	106
20.4	Rutherfordův pokus	106
20.5	Pojmy z jaderné fyziky	106
20.5.1	Nuklid	106
20.5.2	Izotop	106
20.5.3	Vazebná energie	106
20.5.4	Hmotnostní úbytek	106
20.6	Záření absolutně černého tělesa	106
20.7	Planckova kvantová hypotéza	106
20.8	Vnitřní fotoelektrický jev	106
20.9	Vnější fotoelektrický jev	106
20.10	Comptonův jev	106
20.11	Foton	106
20.12	De Broglieho hypotéza	106
20.13	Vlnová funkce	106
20.14	Vlnové vlastnosti částic	106

20.14.1 Tunelový jev	106
20.14.2 Princip korespondence	106
20.14.3 Kvantování energie	106
20.14.4 Energetické hladiny	106
20.14.5 Kvantový stacionární stav	106
20.14.6 Heisenbergovy relace neurčitosti	106
21 Fyzika elektronového obalu	107
21.1 Atomová fyzika	107
21.1.1 Charakteristika	107
21.1.2 Atomová hypotéza	107
21.2 Spektroskopie	107
21.2.1 Charakteristika	107
21.2.2 Spektrum	107
21.2.3 Emisní spektra	107
21.2.4 Čárová spektra	108
21.2.5 Spojitá spektra	108
21.2.6 Absorpční spektra	108
21.2.7 Fraunhoferovy čáry ve slunečním spektru	108
21.3 Vodíkové spektrum	108
21.3.1 Charakteristika	108
21.3.2 Balmerův-Rydbergův vztah	108
21.3.3 Rydbergova frekvence	109
21.3.4 Hrana série	109
21.3.5 Série čar	109
21.3.6 Balmerova série	109
21.4 Energetické hladiny vodíku	109
21.4.1 Vztah pro energetické hladiny	109
21.4.2 Základní stav atomu vodíku	110
21.4.3 Excitovaný stav	110
21.4.4 Ionizace	110
21.4.5 Ionty	110
21.4.6 Grafické znázornění energetických hladin	110
21.5 Bohrova představa atomu	111
21.5.1 Charakteristika	111
21.5.2 Bohrova představa atomu	111
21.6 Franckův-Hertzův pokus	111
21.6.1 Význam	111
21.6.2 Popis	112
21.6.3 Vysvětlení	112
21.6.4 Náčrt experimentu	112
21.7 Bohrův model atomu vodíku	112
21.7.1 Analogie	112
21.7.2 Charakteristika	113
21.7.3 Přednosti	113
21.7.4 Nedostatky	113
21.8 Kvantově mechanický model atomu	113

21.8.1	Motivace	113
21.8.2	Schrodingerova rovnice	113
21.8.3	Vlnová funkce	113
21.8.4	Charakteristika	114
21.8.5	Orbital	114
21.9	Kvantová čísla	114
21.9.1	Charakteristika	114
21.9.2	Kvantová čísla	114
21.10	Stavba elektronových obalů prvků	114
21.10.1	Základy	114
21.10.2	Charakteristika	114
21.11	Principy v mikrosvětě	114
21.11.1	Pauliho vylučovací princip	114
21.11.2	Výstavba atomového obalu podle PVP	115
21.11.3	Princip nerozlišitelnosti	115
21.11.4	Princip minimální energie	115
21.12	Elektronová konfigurace	115
21.13	Principy laseru	115
21.13.1	Charakteristika	115
21.13.2	Spontánní emise	115
21.13.3	Absorpce	115
21.13.4	Stimulovaná emise	115
21.13.5	Spontánní emise	115
21.14	Vlastnosti laseru	115
22	Jaderná fyzika	116
22.1	Charakteristika	116
22.2	Atomové jádro	116
22.2.1	Popis	116
22.2.2	Protonové číslo	116
22.2.3	Neutronové číslo	116
22.2.4	Vztah mezi těmito čísly	116
22.3	Základní pojmy	116
22.3.1	Chemický prvek	116
22.3.2	Nuklid	116
22.3.3	Izotop	117
22.4	Vazební energie jádra	117
22.4.1	Motivace k hmotnostnímu úbytku	117
22.4.2	Einsteinův vztah mezi hmotností a energií	117
22.4.3	Hmotnostní úbytek	117
22.4.4	Vazební energie obecně	117
22.4.5	Vazební energie jádra	117
22.4.6	Vazební energie na jeden nukleon	118
22.4.7	Graf závislosti vazební energie na jeden nukleon na počtu nukleonů	118
22.5	Jaderné síly	118
22.5.1	Charakteristika	118
22.5.2	Výčet vlastností	118

22.6	Radioaktivita	118
22.6.1	Charakteristika	118
22.6.2	Radionuklidy	119
22.6.3	Typy radioaktivního rozpadu	119
22.6.4	Druhy radioaktivního záření	119
22.6.5	Záření α	119
22.6.6	Záření β	119
22.6.7	Záření γ	120
22.6.8	Neutronové záření	120
22.7	Zákon radioaktivní přeměny	120
22.7.1	Aktivita zářiče	120
22.7.2	Zákon radioaktivní přeměny	120
22.7.3	Přeměnová konstanta	120
22.7.4	Poločas přeměny	120
22.8	Přeměnové řady	121
22.8.1	Transurany	121
22.9	Jaderné reakce	121
22.9.1	Charakteristika	121
22.9.2	Druhy reakcí	121
22.10	Jaderná syntéza	122
22.10.1	Charakteristika	122
22.10.2	Zákony zachování	122
22.10.3	Průběh reakce	122
22.10.4	Termojaderné reakce ve Slunci	122
22.10.5	Tokamak	122
22.10.6	Reakce v tokamaku	123
22.10.7	Vodíková bomba	123
22.10.8	Princip vodíkové bomby	123
22.10.9	Účinky vodíkové bomby	123
22.10.10	Neutronová bomba	123
22.10.11	Car-bomba	123
22.11	Jaderné štěpení	123
22.11.1	Charakteristika	123
22.11.2	Přirozená radioaktivita	124
22.11.3	Jaderné štěpení v praxi	124
22.12	Řetězová štěpná reakce	124
22.12.1	Charakteristika	124
22.12.2	Průběh reakce	124
22.12.3	Moderátor	124
22.12.4	Kritické množství	124
22.13	Jaderná elektrárna	125
22.13.1	Charakteristika	125
22.13.2	Složení elektrárny	125
22.13.3	Reaktor	125
22.13.4	Moderátor	126
22.13.5	Klady a zápory elektrárny	126
22.13.6	Množivý reaktor	126

22.14	Atomová bomba	126
22.14.1	Charakteristika	126
22.14.2	Složení plutoniové bomby	127
22.14.3	Složení uranové bomby	127
22.14.4	Účinky	127
22.15	Využití radionuklidů	127
22.15.1	Principy	127
22.15.2	Využití v medicíně	127
22.15.3	Využití v průmyslu	128
22.15.4	Využití v zemědělství	128
22.15.5	Využití v archeologii	128
22.16	Ochrana před radioaktivním zářením	128
22.16.1	Dávka	128
22.16.2	Dávkový ekvivalent	128
22.16.3	Dozimetrie	128
22.16.4	Způsoby ochrany	129
22.17	Detektory částic	129
22.17.1	Charakteristika	129
22.17.2	Geiger-Müllerův počítač	129
22.17.3	Wilsonova mlžná komora	129
22.17.4	Bublinková komora	129
22.18	Urychlovače	129
22.18.1	Charakteristika	129
22.18.2	Lineární urychlovač	130
22.18.3	Kruhový urychlovač	130
22.19	Systém částic	130
22.19.1	Popis systému částic	130
22.19.2	Bosony	130
22.19.3	Fermiony	130
22.19.4	Fundamentální částice	130
22.19.5	Hadrony	130
23	Speciální teorie relativity, astrofyzika	131
23.1	Klasická Newtonova mechanika	131
23.1.1	Newtonovy zákony	131
23.1.2	Newtonův zákon setrvačnosti	131
23.1.3	Newtonův zákon síly	131
23.1.4	Newtonův zákon akce a reakce	131
23.1.5	Vztažná soustava	131
23.1.6	Inerciální vztažná soustava	131
23.1.7	Současné a souměrné události	131
23.1.8	Absolutnost času	131
23.1.9	Absolutnost délky předmětů	131
23.1.10	Absolutnost hmotnosti těles	131
23.1.11	Klasické skládání rychlostí	131
23.1.12	Galileiho mechanický princip relativity	131
23.2	Vznik Speciální teorie relativity	131

23.2.1	Problém určení rychlosti světla	131
23.2.2	Problém éteru	131
23.2.3	Problém hledání absolutní vztažné soustavy	131
23.3	Základní principy STR	131
23.3.1	Inerciální vztažná soustava	131
23.3.2	Speciální teorie relativity	131
23.3.3	Princip relativity	131
23.3.4	Princip stálé rychlosti světla	131
23.4	Důsledky postulátů STR	132
23.4.1	Výčet důsledků	132
23.5	Relativnost současnosti	132
23.6	Dilatace času	132
23.6.1	Charakteristika	132
23.6.2	Paradox dvojčat	132
23.7	Kontrakce délek	132
23.8	Skládání rychlostí v STR	132
23.9	Relativistická hmotnost	132
23.10	Relativistická hybnost	132
23.11	Vztah mezi hmotností a energií	132
23.12	Astrofyzika	132
23.12.1	Charakteristika	132
23.12.2	Sluneční soustava	132
23.12.3	Slunce	132
23.12.4	Planety	132
23.12.5	Planetky a trpasličí planety	132
23.12.6	Komety, meteoroidy	132
23.12.7	HR diagram	132
23.12.8	Galaxie	132
24	Zákony zachování	133
24.1	Izolovaná soustava	133
24.1.1	Popis	133
24.2	Zákon zachování hybnosti	133
24.2.1	Hybnost	133
24.2.2	Motivace	133
24.2.3	Charakteristika	133
24.3	Zákon zachování hmotnosti	133
24.4	Zákon zachování mechanické energie	133
24.4.1	Mechanická energie	133
24.4.2	Znění	133
24.4.3	Příklad	134
24.5	Zákon zachování energie	134
24.5.1	Znění	134
24.5.2	Příklad	134
24.6	Zákon zachování hmotnosti v proudící kapalině	134
24.6.1	Ideální kapalina	134
24.6.2	Objemový průtok	134

24.6.3	Rovnice kontinuity	134
24.7	Zákon zachování energie v proudící kapalině	135
24.7.1	Motivace k potenciální tlakové energii	135
24.7.2	Výpočet potenciální tlakové energie	135
24.7.3	Bernolliho rovnice	135
24.7.4	Důsledky bernolliho rovnice	136
24.8	Mechanické oscilátory	136
24.8.1	Charakteristika	136
24.8.2	Pružinový oscilátor	136
24.8.3	LC obvod	136
24.9	Zákony zachování u jaderných reakcí	136
24.9.1	Druhy jaderných reakcí	136
24.9.2	Popis	137
24.10	Zákony zachování v relativistické fyzice	137
24.10.1	Zákon zachování pro relativistickou hmotnost	137
24.10.2	Zákon zachování energie	137
24.10.3	Zákon zachování hybnosti pro relativistickou hybnost	137
25	Práce a energie	138
25.1	Mechanická práce	138
25.1.1	Charakteristika	138
25.1.2	Záporná práce	138
25.1.3	Pracovní diagram	138
25.2	Kinetická energie	138
25.2.1	Charakteristika	138
25.2.2	Výpočet	138
25.2.3	Závislost na vztažné soustavě	138
25.2.4	Kinetická energie soustavy	138
25.3	Tíhová potenciální energie	139
25.3.1	Charakteristika	139
25.3.2	Nulová hladina	139
25.3.3	Výpočet	139
25.4	Mechanická energie	139
25.4.1	Charakteristika	139
25.4.2	Zákon zachování mechanické energie	139
25.4.3	Rozdíl mezi energií a prací	139
25.5	Vnitřní energie tělesa	139
25.5.1	Charakteristika	139
25.5.2	Změna vnitřní energie tělesa	140
25.6	Teplo	140
25.6.1	Charakteristika	140
25.6.2	Výpočet	140
25.7	První termodynamický zákon	140
25.7.1	Znění	140
25.7.2	Znaménková konvence	140
25.7.3	Adiabatický děj	140
25.7.4	Není konána práce	140

25.7.5	Práce, kterou koná soustava	141
25.7.6	Přenos vnitřní energie	141
25.7.7	Práce vykonaná plynem	141
25.8	Druhý termodynamický zákon	141
25.8.1	Znění	141
25.8.2	Klasický tepelný stroj	141
25.8.3	Jiné znění	141
25.9	Práce v elektrickém poli	142
25.9.1	Charakteristika	142
25.9.2	Definice napětí	142
25.9.3	Potencionální energie bodového náboje	142
25.9.4	Elektrický potenciál	142
25.9.5	Ekvipotenciální plocha	142
25.10	Elektrická energie kondenzátoru	143
25.11	Energie magnetického pole cívky	143
25.12	Energie elektromagnetického záření	143

1 Kinematika

1.1 Charakteristika

Kinematika je fyzikální disciplína, která zkoumá mechanické pohyby hmotných těles a hmotných bodů bez ohledu na příčiny.

1.2 Hmotný bod

Hmotný bod je myšlený bodový objekt, kterým pro zjednodušení nahrazujeme těleso při zkoumání jeho mechanických pohybů. Umísťujeme jej do těžiště tělesa. Má stejnou hmotnost jako zkoumané těleso.

1.3 Relativnost klidu a pohybu

1.3.1 Klid a pohyb

Těleso nebo hmotný bod je v klidu vzhledem k jinému tělesu, jestliže v průběhu času k němu nemění svou polohu. Pokud ji mění, tak se vůči tomuto tělesu pohybuje.

1.3.2 Relativnost

Klid nebo pohyb tělesa nebo hmotného bodu nikdy nelze určit absolutně. Vždy je nutno určit vůči nějakému jinému tělesu. Toto těleso nazýváme **vztažné těleso**.

1.3.3 Vztažná soustava

Pokud toto vztažné těleso umístíme do počátku soustavy souřadnic, vznikne nám vztažná soustava. V této soustavě můžeme určit polohu tělesa vůči vztažnému tělesu dvěma způsoby:

- Souřadnicemi
- Polohovým vektorem r

1.3.4 Polohový vektor

Určuje polohu tělesa ve vztažné soustavě. Jde z počátku až do bodu, kde se nachází těleso.

1.4 Základní pojmy kinematiky

1.4.1 Trajektorie

Trajektorie je množina všech bodů, kterými hmotný bod při svém pohybu prochází.

1.4.2 Dráha

Dráha s je délka trajektorie. Dráha je skalární fyzikální veličina. Jednotkou je metr.

1.5 Rychlost

1.5.1 Definice

Rychlost je fyzikální veličina, jednotkou je metr za sekundu.

1.5.2 Průměrná rychlost

Průměrná rychlost v_p je definována jako podíl dráhy a času, za který hmotný bod tuto dráhu urazí. Průměrná rychlost je skalár. Vztah pro výpočet:

$$v_p = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

1.5.3 Okamžitá rychlost

Okamžitá rychlost je vektor. Vztah pro výpočet:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

kde

$$\Delta t \rightarrow 0$$

1.6 Zrychlení

1.6.1 Definice

Zrychlení je vektorová fyzikální veličina, značí se \vec{a} a jednotkou je $m \cdot s^{-2}$. Zrychlení udává změnu vektoru rychlosti v čase a je dáno vzorcem:

$$\vec{s} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Zrychlení je možné rozložit na dvě navzájem kolmé složky:

- Tečné zrychlení
- Normálové zrychlení

1.6.2 Tečné zrychlení

Složka zrychlení, která je rovnoběžná s tečnou trajektorie. Tato složka zrychlení udává změnu velikosti vektoru \vec{v} .

1.6.3 Normálové zrychlení

Složka zrychlení, která je kolmá na tečnu trajektorie. Tato složka udává změnu směru vektoru \vec{v} .

1.7 Rozdělení pohybů dle rychlostí

Pohyby dělíme podle tvaru trajektorie na:

- Přímocharé
- Křivocharé

Dále je podle rychlosti dělíme na:

- Rovnoměrné
- Zrychlené
- Zpomalené

1.8 Rovnoměrný přímočarý pohyb

1.8.1 Definice

Je to pohyb tělesa konstantní rychlostí, trajektorií je přímka.

1.8.2 Výpočet dráhy

Dráha je přímo úměrná času:

$$s = vt$$

$$s = s_0 + vt$$

kde s_0 je počáteční ujetá dráha.

1.9 Rovnoměrně zrychlený pohyb

1.9.1 Definice

Je to pohyb, při kterém je vektor zrychlení $\vec{a} \neq 0$ a zároveň je konstantní v průběhu času a je kladný. Těleso tedy zrychluje. Trajektorií je přímka.

1.9.2 Výpočet okamžité rychlosti

Velikost vektoru rychlosti je přímo úměrná času. Vztahy pro okamžitou rychlost:

$$v = at$$

$$v = v_0 + at$$

kde v_0 je počáteční rychlost tělesa.

1.9.3 Výpočet dráhy

Vzorce:

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$s = s_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

kde v_0 je počáteční rychlost a s_0 je počáteční dráha.

1.10 Rovnoměrně zpomalený pohyb

1.10.1 Definice

Je to pohyb, při kterém je vektor zrychlení $\vec{a} \neq 0$ a zároveň je konstantní v průběhu času a je záporný. Těleso tedy zpomaluje. Trajektorií je přímka. Od rovnoměrně zrychleného pohybu se liší jen pár znaménky ve vzorcích

1.10.2 Výpočet okamžité rychlosti

$$v = at$$

$$v = v_0 - at$$

kde v_0 je počáteční rychlost tělesa.

1.10.3 Výpočet dráhy

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

$$s = v_0t - \frac{1}{2}at^2$$

$$s = s_0 + v_0t - \frac{1}{2}at^2$$

kde v_0 je počáteční rychlost a s_0 je počáteční dráha.

1.11 Rovnoměrný pohyb po kružnici

1.11.1 Definice

Rovnoměrný pohyb po kružnici je pohyb, při kterém je velikost vektoru rychlosti konstantní a trajektorií tohoto pohybu je kružnice.

1.11.2 Průvodič

Průvodič r je spojnice středu kružnice a hmotného bodu, který se po kružnici pohybuje.

1.11.3 Úhlová dráha

Úhlová dráha φ je středový úhel opsaný na kružnici hmotným bodem za dobu t .

$$\varphi = \frac{s}{r}$$

kde r je poloměr kružnice.

1.11.4 Úhlová rychlost

Úhlová rychlost je vektorová fyzikální veličina popisující pohyb hmotného bodu po kružnici. Je to ekvivalent klasické rychlosti, ale místo metrů jsou zde radiány. Vztah:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

kde φ je úhlová dráha.

Úhlová rychlost se zavádí jako vektorová veličina z důvodu určení směru pohybu po kružnici. Směr úhlové rychlosti je normálou k rovině kružnice. Směr určíme pomocí **pravidla pravé ruky**. Prsty ukazují směr pohybu hmotného bodu a natažený palec ukazuje směr vektoru úhlové rychlosti.

1.11.5 Perioda

Perioda je fyzikální veličina, značí se T a jednotkou je sekunda. Vyjadřuje dobu jednoho cyklu - jednoho oběhu hmotného bodu po kružnici.

1.11.6 Frekvence

Frekvence je fyzikální veličina, značí se f a vyjadřuje počet oběhů za jednotku času. Jednotkou je Hertz Hz nebo reciproká sekunda s^{-1} .

Pro frekvenci a periodu platí vztah:

$$f = \frac{1}{T}$$

Pro úhlovou rychlost a frekvenci a periodu platí následující vztahy:

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

$$\omega = 2\pi f$$

1.11.7 Okamžitá rychlost

Okamžitá rychlost \vec{v} hmotného bodu má směr daný tečnou ke kružnici v bodě a velikost:

$$v = r \cdot \omega = \frac{2\pi r}{T}$$

1.11.8 Dostředivé zrychlení

Směr vektoru rychlosti se při pohybu po kružnici neustále mění. Je to způsobeno dostředivým zrychlením. Toto zrychlení je má konstantní velikost a jeho směr je vždy do středu kružnice. Vzorec:

$$\vec{a}_d = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Vztah pro velikost:

$$a_d = \frac{v^2}{r}$$

$$a_d = \omega^2 r$$

1.12 Skládání pohybů a rychlostí

1.12.1 Charakteristika

Skládání pohybů a rychlostí se řídí dvěma hlavními pravidly:

- Princip nezávislosti pohybů
- Zákon skládání rychlostí

1.12.2 Princip nezávislosti pohybů

Pokud koná hmotný bod více pohybů současně, bude jeho výsledná poloha stejná, i kdyby všechny pohyby konal postupně.

1.12.3 Zákon skládání rychlostí

Rychlosti se skládají pomocí sčítání vektorů.

1.13 Volný pád

1.13.1 Popis

Volný pád koná volně puštěné těleso v blízkosti povrchu země z výšky h . Když zanedbáme odpor vzduchu, tak se jedná o rovnoměrně zrychlený pohyb s nulovou počáteční rychlostí.

1.13.2 Vzorce

Pro dráhu:

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

Pro rychlost:

$$v = gt$$

kde g je tíhové zrychlení.

2 Dynamika

2.1 Charakteristika dynamiky

2.1.1 Mechanický obraz světa

- **Prostor:** absolutní, homogenní, izotropní
- **Čas:** absolutní, plyne sám od sebe nezávisle na hmotě a prostoru
- **Síly:** působí okamžitě na dálku.

2.2 Síla

2.2.1 Charakteristika

Síla \vec{F} je vektorová fyzikální veličina, jednotkou je Newton. Síla má tedy velikost, směr a **působíště**. Síla charakterizuje vzájemné působení fyzikálních objektů - polí a těles. Síla se projevuje:

- Při vzájemném dotyku sil
- Na dálku prostřednictvím silových polí - například gravitace.

2.2.2 Účinky síly

Mohou být následující:

- **Deformační** - mění se vlivem síly tvar tělesa
- **Pohybové** - mění se pohybový stav tělesa

Účinek síly závisí na jejím směru, velikosti a působíšti.

2.2.3 Základní interakce

Moderní fyzika zná jen základní síly:

- Slabá interakce
- Silná interakce
- Gravitační síla
- Elektromagnetická interakce

2.2.4 Grafické znázornění síly

Sílu znázorňujeme jako šipku - vektor vycházející z působíště síly.

2.3 Třecí síla

2.3.1 Charakteristika

Smykové tření je jev, který nastává při posouvání tělesa po povrchu jiného tělesa. Na stykových plochách vzniká brzdná síla - **Třecí síla**. Směřuje vždy proti směru pohybu tělesa.

2.3.2 Příčiny vzniku

Příčinami vzniku třecí síly jsou nerovnosti na styčných plochách a přitažlivé síly mezi částicemi obou těles.

2.3.3 Výpočet

Třecí síla je přímo úměrná velikosti kolmé tlakové síly \vec{F}_N . To lze vyjádřit jako:

$$F_t = f \cdot F_n$$

kde konstanta přímé úměrnosti f je **Součinitel smykového tření**. Tento součinitel lze pro běžné kombinace materiálů najít v tabulkách. Součinitel smykového tření je bezrozměrná veličina.

2.3.4 Druhy tření

Jedná se o následující 3 druhy:

- **Smykové tření**, popsáno nahoře
- **Klidové tření**
- **Valivé tření**, nebo valivý odpor

2.3.5 Klidové tření

O klidovém tření mluvíme, když je těleso na podložce v klidu. Součinitel klidového tření f_0 je větší než součinitel smykového tření f . Proto také je nutno větší silou překonat toto klidové tření, poté již je pro udržení rovnoměrného pohybu potřebná síla nižší.

2.3.6 Výpočet klidového tření

Vztah:

$$F_{t0} = f_0 \cdot F_N$$

2.3.7 Závislost smykového tření

Třecí síla nezávisí na obsahu stykových ploch a při běžných rychlostech ani na rychlosti tělesa. Naopak závisí na materiálech a na tlakové síle F_N .

2.3.8 Působíště třecí síly

Působíště třecí Síly se nachází ve středu styčné plochy tělesa.

2.3.9 Valivý odpor

Valivý odpor vzniká při valivém pohybu tělesa po podložce. Je způsoben částečně deformací podložky a částečně deformací tělesa.

2.3.10 Velikost valivého odporu

Velikost valivého odporu je přímo úměrná tlakové síle a nepřímo úměrná poloměru tělesa R . Vztah:

$$F_v = \xi \frac{F_t}{R}$$

kde ξ je konstantou úměrnosti a nazývá se **Rameno valivého odporu**. Jednotkou je metr.

2.3.11 Zmenšování tření

Tření může být ve strojích nežádoucí, proto ho zmenšujeme:

- Vyhlazením povrchů
- Použitím lubrikantu
- Ložiska, válce - valivé tření je obvykle menší než smykové.
- Použitím vhodných materiálů.

2.3.12 Zvětšování tření

Brzdy automobilu - velká síla způsobuje velké tření.

2.4 Motivace pro Newtonovy zákony

2.4.1 Izolované těleso

Izolované těleso je těleso, na které nepůsobí žádné síly. Je to fyzikální abstrakt a v pozemských podmínkách neexistuje, proto zavádíme **Model izolovaného tělesa**.

2.4.2 Model izolovaného tělesa

Model izolovaného tělesa je těleso, na které působí síly tak, že jejich výslednice je nulová. Modelem izolovaného tělesa je například ISS nebo kulička na hladké vodorovné podložce.

2.4.3 Izolovaný hmotný bod

Bezrozměrné izolované těleso.

2.5 Newtonův zákon setrvačnosti

2.5.1 Znění

Každé těleso setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém, je-li výslednice sil působících na těleso nulová.

2.5.2 Vztažná soustava

Vztažná soustava je zvolená skupina těles nebo 1 těleso. Poloha a pohyb zkoumaných těles jsou pak určovány (vztahovány) vzhledem ke zvolené vztažné soustavě - vzhledem k těmto tělesům Vztažné soustavy dělíme na dva druhy:

- Inerciální vztažné soustavy
- Neinerciální vztažná soustavy

2.5.3 Inerciální vztažná soustava

V inerciální vztažné soustavě platí 1. Newtonův zákon.

2.5.4 Neinerciální vztažná soustava

Neinerciální soustava je taková soustava, ve které neplatí 1. Newtonův zákon - například rovnoměrně zrychlující auto.

2.6 Newtonův zákon síly

2.6.1 Znění

Velikost zrychlení a , které síla F uděluje tělesu o hmotnosti m , je přímo úměrné této síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa. Vzorcem:

$$a = \frac{F}{m}$$

případně

$$F = a \cdot m$$

2.6.2 Pohybová rovnice

Pohybová rovnice je obecně rovnice, která vyjadřuje závislost rychlosti hmotného bodu na čase. Vztah obecné pohybové rovnice:

$$\vec{F} = \vec{a} \cdot m$$

2.6.3 Vztah se změnou hybnosti

Druhý Newtonův zákon lze vyjádřit také podle změny hybnosti hmotného bodu. Vztah:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

2.7 Newtonův zákon akce a reakce

2.7.1 Znění

Každá síla \vec{F}_A , kterou jedno těleso působí na druhé, vyvolává reakci - sílu \vec{F}_B , která má stejnou velikost, nicméně opačný směr. Obě dvě síly vznikají i zanikají ve stejný okamžik. Tyto síly se nazývají akce a reakce.

U maturity je vhodné graficky tyto síly znázornit.

$$\begin{aligned}\vec{F}_A &= -\vec{F}_B \\ F_A &= F_B\end{aligned}$$

2.8 Hybnost hmotného bodu

2.8.1 Definice

Hybnost p je fyzikální vektorová veličina, je definována jako součin hmotnosti a okamžité rychlosti hmotného bodu. Jednotkou je:

$$kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

Hybnost je tedy dána vzorcem:

$$p = m \cdot v$$

2.8.2 Impuls hybnosti

Impuls síly \vec{I} je vektorová fyzikální veličina, jednotkou je Newton sekunda. Impuls síly charakterizuje časový účinek síly na těleso a vypočítá se jako:

$$\vec{I} = \vec{F}t = \Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v}$$

Tato rovnice plyne z druhého Newtonova zákona.

2.8.3 Zákon zachování hybnosti

Celková hybnost izolované soustavy těles je dána vektorovým součtem hybností těchto těles a je konstantní.

Izolovanou soustavu tvoří například kulečnickové koule, jsou-li srážky pružné a pokud zanedbáme tření.

2.8.4 Zákon zachování hmotnosti

V izolované soustavě těles je součet hmotností těchto těles konstantní.

2.9 Galileiho princip relativity

2.9.1 Znění

Galileo Galilei objevil, že nelze žádným fyzikálním mechanickým experimentem dokázat, zda se těleso pohybuje rovnoměrně přímočaře, nebo je v klidu.

Zákony mechaniky tedy platí stejně ve všech inerciálních vztažných soustavách.

2.9.2 Inerciální vztažné soustavy

Inerciální vztažné soustavy jsou soustavy, ve kterých platí první Newtonův zákon. Inerciální soustavou je například jedoucí vlak - rovnoměrný přímočarý pohyb.

2.10 Neinerciální vztažné soustavy

2.10.1 Definice

Neinerciální soustava je taková soustava, která se vůči jakékoliv inerciální soustavě pohybuje jiným než rovnoměrným přímočarým. V neinerciální soustavě neplatí první Newtonův zákon. Na tělesa v neinerciální vztažných soustavách působí setrvačné síly.

V neinerciální soustavě pozorujeme zrychlení izolovaných těles vyvolané setrvačnými silami. Toto zrychlení má opačný směr jako zrychlení neinerciální vztažné soustavy vůči nějaké inerciální.

2.10.2 Příklady neinerciálních soustav

- Otáčející se soustavy - například kolotoč nebo lopatky turbíny
- Zrychlující soustavy - například zrychlující auto, výtah

2.10.3 Setrvačné síly

V neinerciálních vztažných soustavách působí na tělesa setrvačné síly. Pro tyto síly neplatí zákon akce a reakce.

Setrvačná síla \vec{F}_s má opačný směr než směr zrychlení soustavy. Pro setrvačnou sílu platí:

$$\vec{F}_s = -m \cdot \vec{a}$$

kde m je hmotnost tělesa, na které síla působí a \vec{a} je zrychlení soustavy.

2.10.4 Odstředivá síla

Pokud se těleso o hmotnosti m pohybuje po kruhové dráze rychlostí v , tak platí:

$$a_d = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

kde a_d je dostředivé zrychlení.

Na těleso pohybující se dostředivým zrychlením, které způsobuje dostředivá síla, působí z pohledu pozorovatele uvnitř tělesa (uvnitř otáčející se soustavy) setrvačná síla, která má vždy směr od středu otáčení. Tuto sílu určíme:

$$\vec{F}_s = -m \cdot \vec{a}_d$$

2.10.5 Moment hybnosti

Pokud se těleso o hmotnosti m pohybuje stálou rychlostí po kružnici, má moment hybnosti \vec{L} . Moment hybnosti je fyzikální vektorová veličina, směr lze určit obdobně jako u úhlové frekvence pomocí pravidla pravé ruky. Směr je tedy normálou k rovině oběhu.

Moment hybnosti tělesa určíme podle vztahu:

$$\vec{L} = \vec{r} \cdot \vec{p}$$

kde p je hybnost tělesa.

2.10.6 Věta o momentu hybnosti

Věta o momentu hybnosti říká, že změna momentu hybnosti je přímo úměrná součinu momentu síly působícího na těleso a času, po který tento moment síly působí. Vyjádřeno vzorcem:

$$\Delta \vec{L} = \vec{M} \Delta t$$

2.10.7 Zákon zachování momentu hybnosti

Nepůsobí-li na těleso žádné otáčivé síly, pak jeho moment hybnosti zůstává konstantní.

Příkladem může být krasobruslařka, která zvedne ruce a roztočí se rychleji.

3 Gravitační pole

3.1 Charakteristika gravitačního pole

Gravitační pole existuje v okolí všech hmotných těles, narozdíl od ostatní tří interakcí působí gravitace pouze přitažlivě. Gravitační působení je vzájemné.

3.2 Newtonův gravitační zákon

3.2.1 Znění

Každá 2 tělesa se navzájem přitahují stejně velkými gravitačními silami (Toto plyne také ze zákona akce a reakce).

3.2.2 Výpočet gravitační síly

Vztah pro dva hmotné body:

$$F_g = \kappa \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

kde κ je gravitační konstanta.

3.2.3 Gravitační konstanta

Hodnota gravitační konstanty udává, s jakou silou se přitahují 2 tělesa o hmotnosti 1 kg vzdálená od sebe 1 metr.

$$\kappa = 6.67 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$$

3.2.4 Závislosti

Velikost gravitační síly tedy je úměrná hmotnosti objektů a je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti těles.

3.3 Intenzita gravitačního pole

3.3.1 Charakteristika

Intenzita gravitačního pole \vec{K} v daném bodě prostoru je definována následovně. Je to podíl gravitační síly působící v daném bodě na hmotný bod a hmotnosti tohoto bodu.

$$\vec{K} = \frac{\vec{F}_g}{m}$$

Vektor intenzity gravitačního pole má stejný směr jako gravitační síla a její velikost je rovna velikosti gravitační síly působící na jednotku hmoty.

3.3.2 Souvislost s gravitačním zrychlením

Platí, že intenzita gravitačního pole se rovná gravitačnímu zrychlení v daném bodě. Vztah:

$$K = \frac{F_g}{m} = \frac{\kappa \frac{mM}{r^2}}{m}$$
$$K = \kappa \frac{M}{r^2} = a_g$$

3.3.3 Centrální gravitační pole

Neboli radiální gravitační pole. Nachází se kolem koule nebo hmotného bodu. Vektor intenzity gravitačního pole směřuje vždy do středu koule nebo do hmotného bodu.

3.3.4 Homogenní gravitační pole

Je to pole, jehož intenzita má v každém bodě stejnou velikost i směr. Za přibližně homogenní můžeme považovat povrch Země v řádech stovek metrů.

3.4 Tíhová síla

3.4.1 Motivace k tíhové síle

Na každé těleso na povrchu Země působí 2 síly:

- Gravitační síla Země
- Setrvačná odstředivá síla.

Tíhová síla je pak výslednicí těchto dvou sil. Setrvačná síla na rovníku působí přímo proti gravitační síle.

$$\vec{F}_G = \vec{F}_g + \vec{F}_s$$

3.4.2 Tíhové zrychlení

Tíhové zrychlení je způsobeno tíhovou silou a udává **svislý směr**.

$$\vec{g} = 9,81 m \cdot s^{-2}$$

Tíhové zrychlení však není na Zemi všude stejné. S klesajícím poloměrem (směrem k polům) klesá setrvačná odstředivá síla a stoupá tedy tíhové zrychlení. Na polech má maximální hodnotu a na rovníku minimální. Proto také rakety startují z mysu Canaveral a ne například poblíž New Yorku. Na Zemi se nachází **tíhové pole**.

3.5 Pohyby těles v homogenním tíhovém poli

Jedná se o následující tři pohyby:

- Volný pád
- Svislý vrh vzhůru
- Šikmý vrh vzhůru

3.6 Volný pád

3.6.1 Charakteristika

Volný pád koná volně puštěné těleso v blízkosti povrchu země z výšky h . Když zanedbáme odpor vzduchu, tak se jedná o rovnoměrně zrychlený pohyb s nulovou počáteční rychlostí. Na takovéto těleso působí tíhové zrychlení.

3.6.2 Vzorce

Pro dráhu:

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

Pro rychlost:

$$v = gt$$

kde g je tíhové zrychlení. Dobu pádu lze odvodit pomocí vzorce pro dráhu.

3.7 Svislý vrh vzhůru

3.7.1 Charakteristika

Je to pohyb, který koná těleso vymrštěné svisle vzhůru počáteční rychlostí \vec{v}_0 . Jde o rovnoměrně zpomalený pohyb.

3.7.2 Rychlost a okamžitá výška

Vzorce lze odvodit ze vzorců pro rovnoměrně zpomalený pohyb. Pro velikost okamžité rychlosti platí:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 - \vec{g} \cdot t$$

Pro okamžitou výšku platí:

$$y = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

3.7.3 Výška a rychlost výstupu

Vztah:

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

Rychlost výstupu je stejná jako rychlost pádu.

3.7.4 Doba výstupu a pádu

Doba výstupu je stejná jako doba pádu.

$$t_h = \frac{v_0}{g}$$

Odvozeno z

$$v = v_0 - gt; v = 0$$

3.8 Šikmý vrh

3.8.1 Charakteristika

Šikmý vrh je kombinací svislého a vodorovného vrhu. Těleso je vymrštěno pod takzvaným **elevačním úhlem**. Trajektorií je část paraboly s vrcholem v nejvyšším bodě vrhu.

3.8.2 Závislost délky vrhu

Závisí na vektoru rychlosti \vec{v}_0 , který se rozkládá do vodorovné a svislé složky. Dále závisí na elevačním úhlu. Pro co nejdelší vrh je optimální elevační úhel 45 stupňů.

3.9 Pohyby těles v centrálním tíhovém poli

3.9.1 Kruhová rychlost

Neboli první kosmická rychlost. Družice se pohybuje po kružnici nebo skoro po kružnici kolem Země. Dostředivá síla musí vyrovnat sílu gravitační. Vztah:

$$F_d = F_g$$
$$m \frac{v_k^2}{r} = \kappa \frac{m \cdot M_Z}{r^2}$$

Odtud:

$$v_k = \sqrt{\frac{\kappa \cdot M_Z \cdot r}{r^2}}$$

A protože

$$a_g = \kappa \frac{M_Z}{r^2}$$

tak

$$v_k = \sqrt{a_g \cdot r} = \sqrt{K \cdot r}$$

Geostacionární družice je taková družice, která má oběžnou dobu 24h, zůstává tedy vůči Zemi na jednom místě.

3.9.2 Parabolická rychlost

Neboli druhá kosmická rychlost. Je to rychlost minimální pro uniknutí z gravitačního pole Země. Trajektorií je tedy parabola. Vztah:

$$v_p = \sqrt{2a_g r}$$

Pokud těleso dosáhne rychlosti někde mezi kruhovou rychlostí a parabolickou rychlostí, tak jeho dráha bude eliptická, přičemž Země bude v jednom z ohnisek.

Z povrchu Země má tato rychlost hodnotu: $v_p = 11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

3.9.3 Třetí kosmická rychlost

Je to minimální rychlost, jakou musí mít objekt, aby byl schopen setrvačností uniknout z gravitačního pole sluneční soustavy.

3.10 Keplerovy zákony

3.10.1 Charakteristika

Keplerovy zákony objevil v 17. století J. Kepler. Popisují pohyby planet v naší sluneční soustavě. Platí pro všechna tělesa, tedy i pro planetky a komety.

3.10.2 1. Keplerův zákon

Planety obíhají kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic. V jejich společném ohnisku je Slunce.

Nejmenší vzdálenost planetky od Slunce nazýváme **perihelium**, největší pak **afelium**.

3.10.3 2. Keplerův zákon

Obsahy ploch opsaných **průvodičem** planety za jednotku času jsou konstantní. Průvodič je úsečka spojující planetu a střed slunce.

3.10.4 3. Keplerův zákon

Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

4 Mechanika tuhého tělesa, kapalin a plynů

4.1 Tuhé těleso

4.1.1 Definice

Tuhé těleso je ideální těleso, jehož tvar ani objem se s působícími silami nemění. Tuhé těleso je tedy jen myšlenkový model pro zjednodušení fyzikálních jevů.

V praxi považujeme za tuhé těleso takové těleso, jehož deformaci jsou při působící síle zanedbatelné.

4.1.2 Druhy pohybů

Tuhé těleso může vykonávat dva druhy pohybů:

- **Translační** neboli rotační - všechny body tělesa opisují tutéž trajektorii stejnou rychlostí.
- **Rotační** neboli otáčivý kolem nehybné osy - všechny body opisují soustředné kružnice. Úhlová rychlost všech bodů je stejná. Okamžité rychlosti jsou nicméně odlišné - rychlost pohybu bodu tělesa je přímo úměrná vzdálenosti r bodu od osy otáčení.

4.2 Moment síly

4.2.1 Charakteristika

Moment síly \vec{M} je vektorová fyzikální veličina, jednotkou je Newton metr Nm . Vyjadřuje otáčivý účinek nějaké síly na těleso. Moment síly je pak vektor rovnoběžný s normálovým vektorem roviny otáčení, je umístěn v ose otáčení.

4.2.2 Směr momentu síly

Směr momentu síly určíme podle pravidla pravé ruky, podobně jako směr úhlové rychlosti. Pravou rukou obejmeme osu, podle které se těleso otáčí. Pokud pokrčené směry jsou ve směru otáčení tělesa, tak zdvižený palec ukazuje směr momentu síly \vec{M} působícím na těleso.

4.2.3 Výpočet momentu síly

Vztah: $M = F \cdot d$ kde d je **rameno síly**

4.2.4 Rameno síly

Rameno síly je kolmá vzdálenost vektoru síly od osy otáčení.

4.2.5 Výsledný moment sil

Výsledný moment sil se určí jako součet všech momentů sil působících na těleso vzhledem k dané ose otáčení.

4.2.6 Momentová věta

Otáčivý účinek sil působících na těleso se vyruší, je-li vektorový součet momentů těchto sil nulový.

$$\vec{M} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \dots + \vec{M}_n = \vec{0}$$

4.2.7 Příklad

Například dvojitá páka (Houpačka) je v klidu, jsou-li velikosti momentů sil působících na ni na obou stranách stejné.

4.3 Dvojice sil

4.3.1 Charakteristika

Dvojici sil tvoří 2 stejně velké síly **opačného** směru působící v různých bodech na těleso, které se otáčí kolem své osy.

4.3.2 Moment dvojice sil

Moment dvojice sil \vec{D} je vektorová fyzikální veličina, jednotkou je samozřejmě Newton metr. Tato jednotka udává otáčivý účinek dvojice sil na těleso. Vztah:

$$\vec{D} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2$$

4.3.3 Výpočet momentu dvojice sil

Pokud momenty sil stejný směr (otáčejí tělesem stejným směrem):

$$D = Fr + Fr = Fd$$

kde d je vzdálenost obou sil. Nazývá se taky **Rameno dvojice sil**.

Pokud momenty sil mají opačný směr (síly působí proti sobě). Síly jsou tedy na jedné straně osy (jednostranná páka):

$$D = M_1 - M_2 = F(x + d) - F(d)$$

kde x je vzdálenost první síly od osy a d je vzdálenost obou sil.

$$D = Fd$$

4.4 Těžiště tělesa

4.4.1 Charakteristika

Těžiště tělesa je **působištem tíhové síly** na těleso v homogenním tíhovém poli. Poloha těžiště závisí na rozložení hmoty v tělese a může ležet mimo těleso (např. donut). U souměrných stejnorodých těles je těžiště v jejich geometrickém středu.

4.4.2 Určení

Těžiště tělesa určujeme experimentálně pomocí zavěšování tělesa, jako průsečík těžnic.

4.4.3 Těžnice

Těžnice je přímka, která prochází bodem závěsu a těžištěm zároveň.

4.5 Rovnovážná poloha tělesa

4.5.1 Charakteristika

Těleso je a zůstává v rovnovážné poloze, je li v klidu a platí li 2 podmínky:

- Výslednice sil působící na těleso je nulová.
- Výsledný moment síly působící na těleso je nulový.

Existují 3 typy rovnovážných poloh:

- Rovnovážná poloha stálá
- Rovnovážná poloha vratká
- Rovnovážná poloha volná

4.5.2 Rovnovážná poloha stálá

Neboli poloha **stabilní**. Po vychýlení z této polohy se těleso do stabilní polohy vrací. Při vychýlení se zvyšuje potenciální energie tělesa.

4.5.3 Rovnovážná poloha vratká

Neboli poloha **labilní**. Po vychýlení z této polohy se těleso do polohy nevrací, naopak se vzdaluje. Při vychýlení se snižuje potenciální energie tělesa.

4.5.4 Rovnovážná poloha volná

Neboli poloha **indiferentní**. Po vychýlení z této polohy se těleso do polohy nevrací, zůstává na místě v nové poloze. Po vychýlení z této polohy zůstává potenciální energie tělesa konstantní.

4.5.5 Stabilita tělesa

Stabilita tělesa je určena prací, kterou musíme vykonat, abychom těleso přemístili z polohy stabilní do polohy vratké. Pro kvádr - práce potřebná k převržení je:

$$W = F_g(h_2 - h_1)$$

Těleso je stabilní, jestli těžnice prochází podstavou. Stabilnější tělesa mají větší podstavu a nižší těžiště.

4.6 Kinetická energie

4.6.1 Charakteristika

Kinetické energie jsou 2 druhy - kinetická energie posuvného pohybu a kinetická energie otáčivého pohybu.

Kinetická energie celého tělesa se pak určí jako součet kinetických energií otáčení a kinetických energií posuvného pohybu všech bodů tohoto tělesa.

Pokud se těleso neotáčí a jen se pohybuje, tak se celková kinetická energie tohoto tělesa určí jako součet kinetické energie posuvného pohybu všech bodů tohoto tělesa. A naopak.

4.6.2 Kinetická energie posuvného pohybu

Tato kinetická energie je rovno součtu všech kinetických energií hmotných bodů tělesa.

$$E_k = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}m_3v_3^2 + \dots$$

4.6.3 Kinetická energie otáčivého pohybu

Tato kinetická energie je rovna součtu kinetických energií všech hmotných bodů tělesa. Protože:

$$v_1 = \omega r_1; v_2 = \omega r_2 \dots v_n = \omega r_n$$

tak pro kinetickou energii otáčivého pohybu platí:

$$E_k = \frac{1}{2}m_1\omega^2r_1^2 + \frac{1}{2}m_2\omega^2r_2^2 + \dots + \frac{1}{2}m_n\omega^2r_n^2$$

Toto můžeme upravit jako:

$$E_k = \frac{1}{2}\omega^2 (m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots + m_nr_n^2)$$

4.6.4 Moment setrvačnosti

Vztah

$$(m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots + m_nr_n^2)$$

se nazývá moment setrvačnosti tělesa a značí se J . Je to skalární veličina a jednotkou je kilogram metr čtvereční $kg \cdot m^2$. Pro určitá pravidelná tělesa lze nalézt v tabulkách, závisí na ose, okolo které se těleso otáčí. Moment setrvačnosti je tedy dán vztahem:

$$J = \sum_{k=1}^n m_k r_k^2$$

4.6.5 Steinerova věta

Pokud osa otáčení neprochází těžištěm, tak moment setrvačnosti tělesa určujeme jako:

$$J = J_0 + md^2$$

kde d je vzdálenost osy otáčení od těžiště.

4.7 Vlastnosti kapalin a plynů

4.7.1 Společné vlastnosti

Kapaliny a plyny jsou pro jejich tekutost označovány jako tekutiny. Nemají stálý tvar, nýbrž přizpůsobují se nádobám, ve kterých jsou uzavřeny.

4.7.2 Rozdílné vlastnosti

Kapalná tělesa jsou téměř nestlačitelná, naopak plyny jsou velmi dobře stlačitelné. Kapalná tělesa mají stálý objem, objem plynů je proměnný. Tvar a objem plynu je dán tvarem a objemem nádoby - nevytváří vodorovnou hladinu. Taky nemá povrchovou vrstvu.

4.8 Dokonalá kapalina a dokonalý plyn

4.8.1 Dokonalá kapalina

Dokonalá kapalina je dokonale tekutá, nemá vnitřní tření a je naprosto nestlačitelná. Je to pouze fyzikální model skutečné kapaliny.

4.8.2 Dokonalý plyn

Dokonalý plyn je dokonale tekutý, bez vnitřního tření a je dokonale stlačitelný. Jedná se pouze o fyzikální model skutečného plynu.

4.9 Tlak

4.9.1 Charakteristika

Tlak je jedním ze stavových veličin, které charakterizují kapalinu nebo plyn. Tlak je skalární fyzikální veličina. Tlak tekutiny se projevuje tlakovou silou.

4.9.2 Výpočet

Pro tlak p v tekutině platí:

$$p = \frac{F}{S}$$

Jednotkou je Pascal. Dříve se používal například Bar - 10^5 Pascallu.

4.9.3 Vznik tlaku v tekutinách

Tlak v plynech vzniká:

- působením vnější síly, např. tlakem pevného tělesa na plyn v uzavřené nádobě.
- v tíhovém poli
- díky srážkám molekul se stěnou nádoby

Tlak v kapalinách vzniká:

- působením vnější Síly
- působením tíhové síly

4.9.4 Pascalův zákon

Tlak v kapalině vyvolaný vnější silou je ve všech místech kapaliny stejný.

Pascalův zákon platí také pro plyny.

4.9.5 Hydraulické zařízení

Hydraulické zařízení (například lis) se skládá ze dvou nádob s pístem, které jsou spojené trubicí. Obě nádoby i trubice jsou naplněny kapalinou. Jedná se vlastně o jednoduchý stroj. Velikosti sil působících na písty vyjádříme vztahem:

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

protože tlak je v kapalině všude stejný. Na stejném principu pracuje **Pneumatické zařízení**, akorát je v něm vzduch.

Hydraulické zařízení jsou například brzdy u aut.

4.9.6 Hydrostatický tlak

Výsledkem působení tíhové síly na kapalinu na Zemi je hydrostatický tlak.

$$p_h = h\rho g$$

kde ρ je hustota kapaliny.

4.9.7 Spojené nádoby

Ve spojených nádobách je u dna stejný tlak, proto i hladiny jsou ve stejné výšce.

4.9.8 Hydrostatický paradox

V nádobách s kapalinou s různým tvarem ale stejným obsahem podstavy působí na podstavu vždy stejná síla. Pokud jsou tedy kapaliny ve stejné výšce.

4.9.9 Atmosférický tlak a Torricelliho pokus

Atmosférický tlak způsobuje tíhová síla působící na Zemi. Atmosférický tlak lze prokázat **Torricelliho pokusem**. Atmosférický tlak se rovná tlaku rtuti v Torricelliho trubicí.

Atmosférický tlak s výškou klesá, mění se i v závislosti na počasí.

Atmosférický tlak udrží sloupec vody ve zhruba 10 metrech.

4.9.10 Měření atmosférického tlaku

Tlak můžeme měřit Torricelliho trubicí nebo barometrem.

4.10 Vztlková síla v kapalinách

4.10.1 Vztlková síla

Vztlková síla je síla, která nadlehčuje těleso ponořené do kapaliny. Má svislý směr vzhůru. Je důsledkem působení hydrostatických sil na těleso.

4.10.2 Odvození

Odvodit lze jednoduše pro krychli: Síla působící na horní podstavu je \vec{F}_1 a síla působící na dolní podstavu je \vec{F}_2 . Síly působící na svislé postavy se vyrušují.

$$F_{vz} = F_2 - F_1$$

$$F_{vz} = Sp_2 - Sp_1 = Sh_2\rho g - Sh_1\rho g = Sg\rho(h_2 - h_1)$$

$$F_{vz} = Sh\rho g$$

kde h je výška tělesa.

$$F_{vz} = V\rho g = mg = G$$

4.10.3 Archimédův zákon

Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou rovnající se tíze vytlačené kapaliny.

$$F_{vz} = V\rho g = G$$

Archimédův zákon platí i v plynu.

4.10.4 Chování těles v kapalině

Důsledkem Archimédova zákona je různé chování těles v kapalině. Rozlišujeme 3 druhy chování:

- jestliže $F_G > F_{vz}$ těleso klesá ke dnu
- jestliže $F_G = F_{vz}$ těleso se volně vznáší neboli plove
- jestliže $F_G < F_{vz}$ těleso stoupá ke hladině

4.11 Proudění kapalin

4.11.1 Proudění kapaliny

Pohyb kapaliny jedním směrem nazýváme prouděním. Proudění dělíme na:

- Stacionární - rychlost se v daném místě nemění s časem
- Nestacionární

Proudění dělíme také na:

- Laminární - jednotlivé vrstvy proudí vedle sebe, aniž by se promíchávaly. Kapalina uprostřed trubky proudí rychleji než kapalina na okraji.
- Turbulentní - chaotické změny rychlosti - turbulence

4.11.2 Proudnice

Proudnice je myšlená čára, jejíž tečna v libovolném bodě má směr rychlosti částice kapaliny. Jedná se o trajektorii částice.

4.12 Rovnice kontinuity

4.12.1 Objemový průtok

Objemový průtok se značí Q_v , je to objem kapaliny, která proteče potrubím za sekundu. Jednotkou je $m^3 \cdot s^{-1}$. Objemový průtok můžeme vyjádřit jako:

$$Q_v = S \cdot v$$

4.12.2 Rovnice kontinuity

Protože kapalina je nestlačitelná, tak musí každou částí potrubí za jednotku času protéct stejný objem kapaliny :

$$Q_v = S \cdot v = \textit{konstanta}$$

Z toho plyne:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Tato rovnice se nazývá rovnice kontinuity.

4.13 Bernoulliho rovnice

4.13.1 Popis

Bernoulliho rovnice je vlastně **Zákon zachování energie v proudící kapalině**.

4.13.2 Motivace k Bernoulliho rovnici

V užším místě je podle rovnice kontinuity větší rychlost kapaliny, a tedy i kinetická energie je v tomto místě větší. Energie kapaliny se tedy najednou zvětšuje!? Podle zákona zachování energie tedy musí existovat nějaká energie, která se na tuto kinetickou energii přemění. Tato energie se nazývá **potenciální tlaková energie**.

4.13.3 Výpočet potenciální tlakové energie

Kinetická energie jednotkového objemu kapaliny:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_k = \frac{1}{2}\rho V v^2$$

Pro jednotkový objem kapaliny tedy ($V = 1$)

$$E_k = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Uvažujme příklad, kdy kapalina tlačí svou tlakovou silou na píst. Tlaková síla v kapalině:

$$F = pS$$

Práce vykonaná kapalinou: (píst se posune o Δx)

$$W = F\Delta x$$

$$W = pS\Delta x$$

$$W = p\Delta V$$

Pokud budeme uvažovat opět jednotkový objem kapaliny ($\Delta V = 1$):

$$E_p = p$$

Což je obecný vztah pro potenciální tlakovou energii.

Celková energie jednotkového objemu kapaliny je tedy tvořena energií kinetickou a energií potenciální. Součet těchto energií musí být konstantní.

4.13.4 Bernolliho rovnice

Bernolliho rovnice je důsledkem toho nahoře:

$$\frac{1}{2}\rho V v^2 + pV = \textit{konstanta}$$

Pokud to vztáhneme na jednotkový objem:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = \textit{konstanta}$$

Tato rovnice se nazývá bernoulliho rovnice a říká, že součet kinetické energie a tlakové potenciální energie je v proudící kapalině v potrubí konstantní.

4.13.5 Důsledky bernoulliho rovnice

Pokud kapalina proudí z širšího potrubí do užšího, tak tlak v užší části bude menší. Dále vztah:

$$\frac{1}{2}\rho v^2$$

se nazývá **dynamický tlak** a lze jej měřit **Pitotovou trubicí**, jenž je namířena proti rychlosti proudění kapaliny.

Důsledkem je také takzvaný **Hydrodynamický paradox**

4.13.6 Hydrodynamický paradox

Hydrodynamický pro vodorovnou trubku: v trubce s nesterjnými průřezy vystoupí v manometrech kapalina nesterjně vysoko. Je to dáno poklesem tlaku v části s menším průřezem. To je důsledkem Bernolliho rovnice.

4.13.7 Torricelliho vzorec pro výtokovou rychlost

Platí pro proud kapaliny vytékající z nádoby:

$$E_p = pV$$

a tedy

$$\frac{E_p}{V} = p = h\rho g$$

Dále

$$\frac{E_k}{V} = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Což je kinetická energie kapaliny, která vytéká z nádoby. Z toho plyne:

$$h\rho g = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Odtud

$$v = \sqrt{2hg}$$

Což je vzorec pro výtokovou rychlost kapaliny.

5 Maturitní otázka číslo 5

6 Struktura a Vlastnosti plynů

6.1 Ideální plyn

6.2 Střední kvadratická rychlost

6.3 Střední kinetická energie

6.4 Tlak plynu

6.5 Stavová rovnice ideálního plynu

6.5.1 Stavové veličiny

6.5.2 Stavová rovnice

6.6 Izotermický děj

6.7 Izochorický děj

6.8 Izobarický děj

6.9 Adiabatický děj

6.10 Práce konaná plynem

6.10.1 Práce při stálém tlaku

6.10.2 Práce při proměnném tlaku

6.11 Kruhový děj

6.12 2. Termodynamický zákon

6.12.1

6.13 Perpetuum mobile

6.13.1 Perpetuum mobile prvního druhu

6.13.2 Perpetuum mobile druhého druhu

6.14 Tepelné motory

7 Maturitní otázka číslo 7

8 Změny skupenství látek

8.1 Skupenství

8.1.1 Charakteristika

Skupenství charakterizuje stav látky s ohledem na uspořádanost částic.

8.1.2 Dělení

Rozlišujeme 4 skupenství:

- Skupenství pevné - částice jsou uspořádány dlouhodobě uspořádány, špatně mění tvar
- Skupenství kapalné - částice jsou uspořádány do shluků, energie kinetická se přibližně rovná energii vzájemného působení částic.
- Skupenství plynné - kinetická energie převažuje
- Plazma - jedná se o ionizovaný plyn, elektrická pole částí plazmy ovlivňují plazmu jako takovou.

8.1.3 Fáze

Fáze je část termodynamické soustavy, která, nepůsobí li na ni vnější síly, má všude stejné fyzikální a chemické vlastnosti a od ostatních částí soustavy je oddělena ostrým rozhraním. Fází je třeba led nebo voda nebo olej ve vodě.

8.2 Změna skupenství

8.2.1 Formulace

Změna skupenství je děj, kdy do soustavy dodáváme energii nebo soustava energii vydává a mění se přitom na jiné skupenství.

8.2.2 Jednotlivé změny skupenství

Rozlišujeme změny skupenství kdy teplo přidáváme a kdy ho odebíráme. Přijímání tepla:

- Tání
- Vypařování
- Sublimace

Odebírání tepla:

- Tuhnutí
- Kapalnění nebo Kondenzace
- Desublimace

8.3 Tání a tuhnutí

8.3.1 Formulace

Tání je přeměna pevné látky na kapalnou. Nastává při určité teplotě a za určitého tlaku.

K tání dochází za **teploty tání**. Tato teplota závisí na tlaku a na látce.

8.3.2 Skupenské teplo tání

Skupenské teplo tání je teplo, které přijme tuhé těleso zahřáté na bod tání, aby se změnilo na kapalinu téže teploty. Značí se L_t . Jednotkou je Joule.

8.3.3 Měrné skupenské teplo tání

Měrné skupenské teplo tání je teplo potřebné k roztavení 1 kg látky na kapalinu. Vztah:

$$l_t = \frac{L_t}{m}$$

Jednotkou je Joule na kilogram.

8.3.4 Tuhnutí

Tuhnutí je děj opačný k tání, teplota tuhnutí je stejná jako teplota tání a skupenské teplo tuhnutí je také stejné jako skupenská teplota tání.

Vzniká li při tuhnutí krystalická látka, nazýváme tento děj **krystalizace**.

8.3.5 Tání krystalické a amorfní látky

Amorfní látka nemá určitou teplotu tání. Postupně měkne až je tekutá.

Zatímco krystalická látka dosáhne teploty tání, zůstává teplota konstantní a teplo se spotřebuje na přeměnu pevné látky v kapalnou. Jakmile se všechna látka přemění v kapalnou, začne se teplota tělesa zase zvyšovat.

8.3.6 Křivka tání

Tato křivka se nachází ve Fázovém diagramu. Začíná v trojném bodě a pravděpodobně nemá ukončení.

8.3.7 Změna objemu látky při tání a tuhnutí

Většina látek při tání zvětšuje svůj objem. Vyjimku tvoří led.

8.4 Sublimace a desublimace

8.4.1 Formulace sublimace a desublimace

Sublimace je přeměna pevného skupenství látky přímo na plynné. Opačným procesem je desublimace.

8.4.2 Příklady sublimace

Za běžného atmosférického tlaku sublimuje například jód, suchý led a všechny tuhé zapáchající látky.

8.4.3 Skupenské teplo

Skupenské teplo sublimace L_s je teplo přijaté pevným tělesem při jeho sublimaci za dané teploty

8.5 Měrné skupenské teplo

Měrné skupenské teplo sublimace l_s je definováno jako teplo, které se musí dodat jednomu kilogramu látky, aby sublimoval za stejné teploty. Vztah:

$$l_s = \frac{L_s}{m}$$

Měrné skupenské teplo sublimace **závisí na teplotě**.

8.5.1 Příklady desublimace

Například jinovatka.

8.6 Vypařování

8.6.1 Formulace

Vypařování je přeměna kapalného skupenství na plynné, probíhá za každé teploty, v níž kapalné skupenství existuje. Částice kapaliny občas vymrští nějakou částici ze svého povrchu.

Při vypařování tyto vyletující částice odebírají z kapaliny energii a kapalina se tak ochlazuje. Toto pocítí například každý, kdo má mokré tělo a osychá.

8.6.2 Kapalina v uzavřené nádobě

Kapalina v uzavřené nádobě se vypařuje tak dlouho, dokud se nevytvoří rovnováha mezi kapalinou a vzniklou párou. Kapalina se poté dále nevypařuje. Pro sublimaci platí to samé.

8.6.3 Rozdíly proti varu

Var je jev, při kterém se narozdíl od vypařování kapalina mění v plyn nejen na svém povrchu ale i v celém svém objemu.

Kapalina se vypařuje pořád, kdežto vře jen při konstantní teplotě

8.6.4 Skupenské teplo

Skupenské teplo vypařování L_v je teplo, které musí kapalina přijmout, aby se změnila na páru téže teploty.

8.6.5 Měrné skupenské teplo

Měrné skupenské teplo vypařování je definováno vztahem:

$$l_v = \frac{L_v}{m}$$

Měrné skupenské teplo vypařování závisí na teplotě.

8.6.6 Závislost rychlosti vypařování

Rychlost vypařování ovlivňuje:

- Odvod par
- Teplota látky
- Velikost povrchu
- Vlastnosti kapaliny

8.7 Var

8.7.1 Formulace

Var je jev, při kterém se při dodávání tepla a určité teplotě kapalina začne měnit v plyn v celém svém objemu. Var se projevuje bubláním syté páry v kapalině. Teplota varu roste s tlakem.

8.7.2 Měrné skupenské teplo varu

Měrné skupenské teplo varu je stejné jako měrné skupenské teplo vypařování látky při teplotě varu.

8.7.3 Rozdíly proti vypařování

Var je jev, při kterém se narozdíl od vypařování kapalina mění v plyn nejen na svém povrchu ale i v celém svém objemu.

Kapalina se vypařuje pořád, kdežto vře jen při konstantní teplotě

8.7.4 Teplota varu

Při teplotě varu se tlak sytých par vznikajících v bublinách vyrovná tlaku kapaliny a okolního prostředí. Proto bublinky probublávají nahoru.

8.8 Kondenzace

8.8.1 Formulace

Kondenzace je opakem vypařování, z plynu se stává kapalina.

8.8.2 Skupenské teplo a Měrné skupenské teplo

Tyto tepla jsou stejná jako jejich ekvivalenty u vypařování.

8.8.3 Význam v praxi

V přírodě - rosa, mraky, mlha, déšť atd.

8.9 Sytá pára

8.9.1 Formulace

Sytá pára je pára, která je v rovnovážném stavu se svojí kapalinou. Vzniká v uzavřeném prostoru nad kapalinou.

8.9.2 Tlak syté páry

Tlak syté páry je určen pouze teplotou, nikoliv objemem. Pokud bychom zmenšovali objem kapaliny, sytá pára zkapalní. Platí i naopak.

Pro sytou páru neplatí Boyle-Mariottův zákon.

8.9.3 Závislost tlaku syté páry

S rostoucí teplotou tlak roste, závisí pouze na teplotě. Nezávisí na objemu.

8.9.4 Křivka syté páry

Závislosti ohledně tlaku syté páry vyjadřuje **křivka syté páry** ve fázovém diagramu. Tato křivka začíná **trojným bodem** a končí kritickým bodem K. V Kritickém bodě mizí rozdíl mezi kapalinou a sytou párou.

8.10 Fázový diagram

8.10.1 Popis

Fázový diagram je grafické vyjádření závislosti mezi stavovými veličinami látky - skupenstvím, tlakem, teplotou.

Fázový diagram p-T obsahuje 3 křivky.

8.10.2 Zobrazení rovnovážných stavů

Rovnovážný stav je stav, kdy mohou koexistovat 2 různá skupenství stejné látky při stejném tlaku a teplotě. Tyto stavy jsou v diagramu znázorněny pomocí 3 křivek.

8.10.3 Popis křivek

- Křivka syté páry - znázorňuje rovnováhu mezi kapalným skupenstvím a sytou párou.
- Křivka sublimační - znázorňuje rovnovážnou koexistenci plynné látky a pevné látky.

- Křivka tání - znázorňuje koexistenci pevného a kapalného skupenství.

8.10.4 Trojný bod

Trojný bod je společný bod všech 3 křivek. V tomto bodě tedy mohou koexistovat všechny 3 skupenství naráz.

8.10.5 Kritický bod

V kritickém bodě mizí rozdíl mezi sytou párou a kapalinou.

8.10.6 Přehřátá pára

Přehřátá pára vzniká buď zvětšením objemu syté páry, nebo zvýšením teploty. Přehřátá pára má menší tlak a hustotu než sytá pára. Nachází se napravo od křivky syté páry. Přehřátá pára tedy nemůže koexistovat s kapalinou.

8.10.7 Podchlazená pára

Neboli přesycená pára. Vznikne ze syté páry stlačením, nebo ochlazením, za předpokladu, že nejsou přítomna žádná kondenzační jádra - například ionty. Přesycená pára má vyšší tlak a hustotu než pára sytá.

Její stav je ovšem nestabilní a po přidání kondenzačních jader rychle kondenzuje.

8.11 Vodní pára v atmosféře

8.11.1 Absolutní vzdušná vlhkost

Absolutní vlhkost vzduchu je fyzikální veličina, jednotkou je kilogram na metr krychlový. Absolutní vlhkost vzduchu Φ je definována vztahem:

$$\Phi = \frac{m}{v}$$

kde m je hmotnost vodní páry obsažené ve vzduchu a V je objem vzduchu.

8.11.2 Relativní vzdušná vlhkost

Relativní vzdušná vlhkost ϕ je definována vztahem:

$$\phi = \frac{\Phi}{\Phi_m}$$

kde Φ je absolutní vlhkost vzduchu při dané teplotě a Φ_m je absolutní vlhkost vzduchu nasyceného vodní parou, tj. hustota syté vodní páry ve vzduchu téže teploty.

8.11.3 Rosný bod

Rosný bod je stav, při kterém se vodní páry stávají sytými a při dalším snížení teploty kapalní.

8.11.4 Teplota rosného bodu

Při této teplotě se vodí páry ve vzduchu stávají sytými.

9 Kmitání mechanického oscilátoru

9.1 Mechanický oscilátor

9.1.1 Formulace

Mechanický oscilátor je mechanická soustava, která vykonává kmitavý pohyb neboli. To znamená, že střídavě vychyluje v různých směrech od své rovnovážné polohy. Charakteristickým znakem každého mechanického oscilátoru jsou fyzikální veličiny, které se s časem periodicky mění (výchylka od rovnovážné polohy).

9.1.2 Příklady

Příklady mechanických oscilátorů:

- Kulička v důlku
- Kyvadlo
- Pružné těleso ve svěráku
- Vodu v trubici ve tvaru U
- Pružinový oscilátor

9.1.3 Časový diagram

Časový diagram kmitavého pohybu je graf, který znázorňuje závislost okamžité výchylky mechanického oscilátoru na čase. Grafem je u harmonických pohybů sinusoida.

Časový diagram kmitavého pohybu můžeme znázornit i kružnicí.

9.1.4 Kmit

Jeden kmit je doba jednoho cyklu. Kyvadlo se kýve tam a pak zase zpátky.

9.1.5 Kyv

Jeden kyv polovina cyklu. Kyvadlo se kýve tam.

9.1.6 Perioda a frekvence

Perioda je doba jednoho kmitu. Značí se T a jednotkou je sekunda. Frekvence je počet kmitů mechanického oscilátoru za sekundu. Značí se f a jednotkou je Hertz neboli reziproká sekunda. Vztah mezi frekvencí a periodou:

$$f = \frac{1}{T}$$

9.1.7 Okamžitá výchylka

Okamžitá výchylka mechanického oscilátoru je okamžitá vzdálenost těžiště oscilátoru od jeho rovnovážné polohy.

9.1.8 Amplituda výchylky

Amplituda y_m je označení pro maximální výchylku mechanického oscilátoru.

9.2 Harmonický kmitavý pohyb

9.2.1 Formulace

Harmonické kmitání je přímočarý kmitavý pohyb hmotného bodu. Mění se při něm harmonicky výchylka těžiště oscilátoru podle funkce sinus.

9.2.2 Časový diagram

Rovnoměrný pohyb po kružnici a harmonický kmitavý pohyb spolu souvisejí. V kružnici zobrazujeme okamžitou výchylku na ose y , odtud se dá také pomocí funkce sinus odvodit vztah pro výchylku harmonicky kmitavého pohybu.

Platí:

$$y = y_m (\varphi)$$

9.2.3 Rovnice pro výchylku

Rovnicí pro výchylku se nazývá vztah:

$$y = y_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

kde φ_0 je počáteční fáze kmitání.

9.2.4 Rovnice pro rychlost

Rovnice pro rychlost je dána první derivací funkce popisující výchylku podle času. Vztah:

$$v = \omega y_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

9.2.5 Rovnice pro zrychlení

Rovnice pro zrychlení:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Protože je zrychlení dáno fyzikálně právě touto rovnicí, která je i definicí derivace, tak je zřejmé, že rovnicí zrychlení harmonicky kmitajícího pohybu bude první derivace rychlosti - druhá derivace rovnice pro výchylku. Vztah:

$$a = -\omega^2 y_m \sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 y_m$$

9.3 Fáze kmitavého pohybu

9.3.1 Formulace

Fáze kmitavého pohybu je úhel, který od počátku až do času t opíše v kruhovém časovém diagramu průvodič. Závisí na čase a na počáteční fázi harmonického kmitání. Jednotkou je radián.

9.3.2 Rovnice

Fázi kmitavého pohybu lze určit jako:

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

kde ω je úhlová frekvence kmitání.

9.3.3 Počáteční fáze

Počáteční fáze φ_0 je fáze, kterou má kmitavý pohyb v čase 0.

9.3.4 Fázový rozdíl

Fázový rozdíl je úhel mezi 2 fázemi. Můžeme ho vyjádřit jako:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2$$

Pokud je tento úhel roven sudému násobku π , tak je fáze stejná, pokud je úhel roven lichému násobku π , tak je fáze opačná.

9.4 Složené kmitání

9.4.1 Charakteristika

Pro složené kmitání platí **princip superpozice**: Jestliže hmotný bod koná více kmitavých pohybů naráz, tak ho okamžitá výchylka je rovna součtu výchylek všech těchto pohybů.

$$y = y_1 + y_2$$

Průběh složeného kmitání závisí na amplitudách, frekvencích a počátečních fázích pohybů.

9.4.2 Skládání kmitání stejné frekvence

Pokud dvě kmitání jsou ve fázi, tak se výsledné kmitání zesílí:

$$y = (y_{m1} + y_{m2}) \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Pokud dvě kmitání mají opačnou fázi - fáze je posunuta o π , tak se to odečítá. Pokud mají stejnou amplitudu tak se vyruší.

9.4.3 Rázy

Rázy jsou zvláštním případem složeného kmitání složeného ze dvou harmonických pohybů. Vznikají při skládání 2 kmitání se stejnými amplitudami a blízkými frekvencemi.

Perioda rázů je

$$T_r \frac{\pi}{\Delta\omega}$$

a frekvence je:

$$f = f_2 - f_1$$

9.5 Pohybová rovnice

9.5.1 Definice

Podle druhého Newtonova zákona:

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

$$\vec{F} = -m\omega^2\vec{y}$$

Tato rovnice se nazývá pohybová rovnice harmonického pohybu. Toto lze odvodit z druhé derivace rovnice pro harmonické kmitání.

9.6 Závaží na pružině

9.6.1 Tuhost pružiny

Tuhost pružiny je skalární fyzikální veličina, jednotkou je newton na metr. Značí se k a je dána podílem síly působící na pružinu a změny délky této pružiny. Tuhost pružiny vypočítáme tedy podle vztahu: $k = \frac{F}{\Delta l}$

9.6.2 Pohybová rovnice závaží na pružině

Příčinou pohybu závaží na pružině je síla F . Tato síla je dána pohybovou rovnicí.

$$\vec{F} = -k\vec{y}$$

9.6.3 Parametry pružinového oscilátoru

Parametry pružinového oscilátoru jsou dva, hmotnost a tuhost pružiny.

9.6.4 Vlastní kmitání

Působením síly popsané pohybovou rovnicí pružinového oscilátoru vzniká vlastní kmitání.

9.6.5 Odvození vlastní úhlové rychlosti

Vlastní úhlovou rychlost můžeme odvodit podle vztahu:

$$F = F$$

$$-ky = -m\omega^2 y$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Odtud dostaneme tedy vzorec pro úhlovou frekvenci.

9.6.6 Perioda a frekvence

Ze vzorce pro úhlovou frekvenci lze vyjádřit dále perioda a frekvence podle:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

9.7 Kyvadlo

9.7.1 Definice

Kyvadlo je těleso zavěšené nad těžištěm. Může se otáčet podél osy kolmé k ose závěsu.

9.7.2 Matematické kyvadlo

Matematické kyvadlo je model kyvadla tvořený hmotným bodem zavěšeným na pevném vlákně. Úhel vychýlení α se pohybuje od -5 do 5 stupňů. Model matematického kyvadla se zavádí proto, aby byl kmitavý pohyb hmotného bodu alespoň přibližně přímočarý.

9.7.3 Příčina pohybu a parametry kyvadla

Příčinou pohybu kyvadla je tíhová síla, která se rozkládá na 2 složky - viz obrázek. Parametry kyvadla jsou délka závěsu a tíhové zrychlení. Úhlová frekvence kyvadla **nezávisí na hmotnosti**.

9.7.4 Úhlová frekvence matematického kyvadla

Vlastní úhlová frekvence se určí jako:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

9.7.5 Perioda a frekvence

Ze vzorce pro vlastní úhlovou frekvenci můžeme odvodit:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$$

9.7.6 Odvození

Vzorce nahoře můžeme odvodit z:

$$F = F_G \sin \alpha$$

kde F je pohybová síla kyvadla, jedna ze složek tíhové síly.

$$F = mg \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{y}{l}$$

$$F = mg \frac{y}{l}$$

$$F = \frac{mg}{l} y = -ky$$

kde k je nějaká konstanta úměrnosti (u kyvadla je to tuhost pružiny).

$$k = \frac{mg}{l}$$

Znaménko se vypouští, neboť výchylka y může být i záporná. Dosadíme do vztahu pro úhlovou frekvenci:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{mg}{l}} \frac{1}{m}$$

Dostaneme výsledný vztah:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

9.7.7 Využití

Kyvadlo se užívá například při měření času, vlastní kmitání oscilátoru je vždy tlumené.

9.8 Přeměny energie

9.8.1 Charakteristika

Mechanická energie kmitající mechanického oscilátoru je konstantní, zanedbáme-li odpor prostředí, tření atd. Dvě složky mechanické energie, energie kinetická a energie potenciální se tedy vzájemně harmonicky obměňují.

9.8.2 Pružinový oscilátor

Kinetická energie závaží

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

se mění na potenciální energii pružiny.

$$E_p = \frac{1}{2}ky^2$$

9.8.3 Krajiní hodnoty

V rovnovážné poloze oscilátoru má maximum energie kinetická, v krajní poloze pak energie potenciální.

9.9 Nucené kmitání

9.9.1 Charakteristika

Nucené kmitání vzniká působením vnější periodické síly na mechanický oscilátor. Frekvence kmitání je pak shodná a **závisí pouze na** frekvenci vnější síly.

Je-li frekvence vnější síly značně odlišná od vlastní frekvence, pak je velikost amplitudy malá.

9.9.2 Vznik

Nucené kmitání vzniká například když rozkmitáváme kyvadlo rukou.

9.10 Rezonance

9.10.1 Charakteristika

Rezonance je jev, který nastane, když je úhlová frekvence nuceného kmitání shodná s úhlovou frekvencí vlastního kmitání. Jedná se o náhlé zvětšení amplitudy nuceného kmitání.

9.10.2 Rezonanční křivka

Rezonanční křivka je tvarem grafu, který popisuje závislost amplitudy na úhlové frekvenci nuceného kmitání. Tam, kde se úhlová frekvence rovná úhlové frekvenci vlastního kmitání ω_0 , se křivka náhle zvedá.

9.10.3 Příklady rezonance

Například pochodující vojáci - na mostě dá velitel příkaz volný krok nebo něco takového. Rezonance dále využíváme například při ladění strun na kytaru.

10 Mechanické vlnění

10.1 Charakteristika mechanického vlnění

10.1.1 Podstata vlnění

Mechanické vlnění je děj, při kterém se kmitání šíří látkovým prostředím. Toto prostředí je složeno z mnoha částic, které si vzájemně předávají energii kmitání. Částice látky se **nepřemisťují** v prostoru, nicméně kmitají kolem rovnovážných poloh.

Kmitáním se tedy nepřenáší hmota, ale pouze energie.

10.1.2 Pružné prostředí

Pružné prostředí je prostředí, ve kterém se kmitání jedné částice vzájemnou vazbou přenáší na další částice.

10.1.3 Vznik vlnění

Pružné prostředí – prostředí, ve kterém se kmitání jedné částice vzájemnou vazbou přenáší na další částice

10.1.4 Vlnová délka

10.2 Rozdělení vlnění

Vlnění dělíme na:

- **Vlnění příčné** - částice kmitají kolmo na směr pohybu vlny.
- **Vlnění podélné** - částice kmitají ve směru šíření vlny.

dále vlnění dělíme na:

- **Vlnění stojaté**
- **Vlnění postupné**

- 10.2.1 Vlnění postupné příčné
- 10.2.2 Vlnění postupné podélné
- 10.2.3 Vlnění stojaté příčné
- 10.2.4 Vlnění stojaté podélné
- 10.3 Rovnice postupné vlny
- 10.4 Interference vlnění
- 10.5 Odraz vlnění
- 10.6 Huygensův princip
- 10.7 Akustika
 - 10.7.1 Ultrazvuk
 - 10.7.2 Infrazvuk

11 Elektrický náboj a elektrické pole

11.1 Elektrický náboj

11.1.1 Charakteristika

Elektrický náboj je skalární fyzikální veličina, charakterizuje elektricky nabitá tělesa. Značkou je Q a jednotkou je Coulomb. Ve druhém významu je elektrický náboj je také stav elektricky nabitého tělesa.

11.1.2 Elementární náboj

Elementární náboj je nejmenší možný náboj, jaký je možné v přírodě experimentálně zjistit. Tento náboj se značí e a jeho velikost je

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$$

Tento elektrický náboj mají elementární částice:

- Proton má náboj $+e$
- Elektron má náboj $-e$

11.1.3 Volný náboj

Volný elektrický náboj lze přenášet v tělesa z jedné části na druhou. Volný náboj nesou elektrony v kovech a polovodičích, ionty v kapalinách a plynech.

11.1.4 Vodiče

Vodiče jsou látky, které obsahují volný elektrický náboj, tyto látky vedou elektrický proud.

11.1.5 Izolanty

Izolanty neboli dielektrika jsou látky, které neobsahují volný elektrický náboj, a tedy nevedou elektrický proud.

11.1.6 Zákon zachování elektrického náboje

Elektrický náboj soustavy, která si s okolím nevyměňuje částice, je konstantní.

11.2 Elektroskop

11.2.1 Charakteristika

Je to přístroj, pomocí kterého lze zjistit, zdali je těleso nabitě elektrickým nábojem. Skládá se z ciferníku a dvou ručiček.

11.2.2 Princip

Protože se elektrické náboje stejného znaménka odpuzují, tak se také ručičky elektroskopu, na které přejde náboj z měřeného tělesa, oddálí od sebe a ukáží výchylku. Přístroj tedy nerozlišuje mezi kladným a záporným nábojem.

11.2.3 Elektrometr

Elektrometrem se rozumí obecně přístroj, kterým lze změřit elektrický náboj nebo rozdíl potenciálů. Nejjednodušším příkladem je právě elektroskop.

11.3 Coulombův zákon

11.3.1 Znění

Dva bodové náboje se vzdáleností r se přitahují nebo odpuzují stejně velkými silami o velikosti:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}$$

kde Q_1 a Q_2 jsou velikosti nábojů, a ϵ je absolutní permitivita prostředí.

11.3.2 Závislost elektrické síly

Velikost elektrické síly tedy závisí na velikosti nábojů, na permitivitě prostředí, a na čtverci vzdáleností.

11.3.3 Permitivita

Permitivita prostředí vyjadřuje míru odporu při vytváření elektrického pole v daném prostředí. Permitivita prostředí se tedy vyjádří jako:

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

kde ϵ_r je relativní permitivita daného prostředí a ϵ_0 je absolutní permitivita vakua.

Jednotkou permitivity je:

$$N^{-1}C^2m^{-2}$$

.

11.3.4 Relativní permitivita

Relativní permitivita prostředí je bezrozměrná veličina, je vždy větší než 1. Vyjadřuje, kolikrát je permitivita daného prostředí větší než permitivita vakua.

11.3.5 Permitivita vakua

Permitivita vakua je konstanta a má hodnotu:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} N^{-1}C^2m^{-2}$$

11.4 Elektrické pole

11.4.1 Charakteristika

Elektrické pole je silové pole, v němž na částice a tělesa působí elektrická síla. Elektrické pole existuje kolem každého elektricky nabitého tělesa.

11.5 Intenzita elektrického pole

11.5.1 Definice

Intenzita elektrického pole je vektorová fyzikální veličina, jednotkou je newton na coulomb, $N \cdot C^{-1}$. Jedná se o podíl síly působící na náboj v elektrickém poli a velikosti tohoto náboje. Intenzita elektrického pole je tedy definována vztahem:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

11.5.2 Určení směru

Směr intenzity elektrického pole je určen podle směru elektrické síly, které v tomto poli působí na kladný elektrický náboj.

11.5.3 Siločáry

Siločára elektrického pole je myšlená čára, v každém jejím bodě má vektor intenzity elektrického pole směr tečny na tuto čáru.

Siločáry jsou orientované křivky, mají směr od kladného náboje k zápornému. V případě osamoceného náboje jdou siločáry do nekonečna.

11.5.4 Homogenní pole

Homogenní elektrické pole se nachází mezi rovnoběžnými, opačně nabitými deskami. Intenzita elektrického pole je v tomto poli všude stejná, má všude stejný směr i velikost.

11.5.5 Intenzita v homogenním poli

Lze vypočítat pomocí vzorce:

$$E = \frac{U}{d}$$

kde U je napětí mezi deskami a d je pak vzdálenost těchto desek.

11.5.6 Radiální pole

Radiální neboli centrální elektrické pole se nachází okolo osamoceného bodového náboje. Vektory intenzity elektrického pole mají směr buď do náboje, pokud se jedná o náboj záporný, nebo od náboje, pokud se jedná o náboj kladný.

11.5.7 Intenzita v radiálním poli

Intenzitu elektrického pole v radiálním poli můžeme určit podle vztahu:

$$E = \frac{F_e}{|q|} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q|}{r^2}$$

Tento vztah platí i vně vodivé koule s nábojem.

11.6 Elektrický potenciál

11.6.1 Potenciální energie

Potenciální energie E_p nějakého náboje je dána prací, kterou musí elektrické síly vykonat, aby přemístily tento náboj z bodu A do místa nulové intenzity.

$$E_p = W_{AB}$$

11.6.2 Charakteristika

Elektrický potenciál je skalární vektorová veličina, značí se ϕ a jednotkou je Volt. Je definován jako podíl potenciální energie bodového náboje v elektrickém poli a velikosti tohoto náboje. Vztah:

$$\phi = \frac{E_p}{q}$$

11.6.3 Potenciál v radiálním poli

Potenciál v radiálním poli je dán vztahem:

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

11.6.4 Ekvipotenciální plocha

Ekvipotenciální plocha je taková plocha, pro kterou platí, že každý bod této plochy má stejný potenciál. Takováto plocha je obvykle kolmá na siločáry.

11.6.5 Napětí

Elektrické napětí je skalární fyzikální veličina, jednotkou je Volt. Elektrické napětí U mezi 2 body je definováno jako rozdíl dvou potenciálů. Je dáno vztahem:

$$U_{AB} = \phi_A - \phi_B$$

Je také možno použít vztah:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

Kde q je kladný náboj. Tedy práce vykonaná elektrickou silou z místa A do místa B.

11.6.6 Práce elektrických sil

Obdobně, jako se definuje napětí mezi 2 místy pomocí práce, tak i práci lze definovat vztahem:

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot q$$

Práci vykonají síly, když přemístí náboj z bodu A do bodu B.

11.6.7 Elektrický potenciál homogenního elektrického pole

Hodnota potenciálu někde mezi nabitými deskami má hodnotu:

$$\phi(X) = E \cdot x = U \frac{x}{d}$$

kde x je vzdálenost od desky s nulovým potenciálem.

11.6.8 Důkaz vzorce pro intenzitu homogenního pole

Pokud

$$\vec{F}_e = \vec{E} \cdot q$$

Potom tato síla vykoná práci:

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot x = Eqx = Fs$$

Dosadíme za práci:

$$W_{AB} = U_{AB}q = E \cdot q \cdot x \Rightarrow U_{AB} = Ex$$

Pak

$$E = \frac{U}{x} = \frac{U}{d}$$

11.7 Vodič v elektrickém poli

11.7.1 Plošná hustota náboje

Plošná hustota elektrického náboje je skalární fyzikální veličina, jednotkou je:

$$C \cdot m^{-2}$$

Pokud je náboj rozložen rovnoměrně, tak je plošná hustota náboje je dána vztahem:

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

Plošná hustota má stejné znaménko jako náboj Q

Plošná hustota náboje roste se zakřivením povrchu, největší je na hrotech.

11.7.2 Plošná hustota náboje pro kouli

Vztah pro kouli:

$$\sigma = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

Plošná hustota náboje je přímo úměrná velikosti intenzity elektrického pole při vnějším povrchu vodiče:

$$|\sigma| = \epsilon E$$

11.7.3 Elektrostatická indukce

Elektrostatická indukce je jev, při kterém se na povrchu tělesa indukuje (vytváří) elektrický náboj přiblížením jiného elektricky nabitého tělesa, proto se označuje jako indukovaný náboj. indukovaný náboj má opačnou polaritu, než náboj, který indukci vyvolal.

11.8 Izolant v elektrickém poli

11.8.1 Atomová dielektrika

Vložení izolantu do elektrického pole nastává jev, který se nazývá polarizace dielektrika. Při polarizaci se z atomů nebo molekul dielektrika působením přitažlivé a odpuzivé elektrické síly stanou **elektrické dipóly** – dojde k nesymetrickému rozložení částic s elektrickým nábojem uvnitř atomů nebo molekul (blíže k jedné straně elektrony, blíže k druhé straně jádro atomu). Taková polarizace se nazývá atomová polarizace.

11.8.2 Orientační polarizace

Některé látky (polární dielektrika, např. voda) obsahují elektrické dipóly i bez působení vnějšího elektrického pole. Jejich směr je ale chaotický a při polarizaci dojde pouze k uspořádání dipólů do jednoho směru. Taková polarizace se nazývá orientační polarizace.

11.9 Kapacita vodiče

11.9.1 Motivace ke kapacitě

Připojíme-li vodič k zdroji stejnosměrného napětí, získá stejné napětí jako zdroj. Náboj, kterým se nabije je přímo úměrný napětí zdroje. Konstantou úměrnosti je kapacita vodiče.

11.9.2 Charakteristika

Elektrická kapacita je skalární fyzikální veličina. Jednotkou je Farad. Je to však velmi velká jednotka, proto se v praxi používají pikoFarady například. Vztah:

$$C = \frac{U}{U}$$

11.9.3 Definice jednotky

Vodič má kapacitu 1F, jestliže se nábojem 1C nabije na 1V.

11.9.4 Kapacita kulového vodiče

Kapacita vodivé koule:

$$C = 4\pi\epsilon R$$

11.10 Kapacita deskového kondenzátoru

11.10.1 Popis kondenzátoru

Deskový kondenzátor je tvořen 2 rovnoběžnými deskami oddělenými dielektrikem o permitivitě ϵ .

11.10.2 Druh pole

Mezi deskami kondenzátoru se nachází homogenní elektrické pole.

11.10.3 Výpočet kapacity

Kapacita deskového kondenzátoru je dána vztahem:

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

11.10.4 Vliv dielektrika

Kapacitu kondenzátoru můžeme zvýšit použitím vhodného dielektrika. Dielektrikum s vysokou permitivitou zvýší kapacitu kondenzátoru.

11.10.5 Paralelní zapojení

Při paralelním zapojení jsou napětí na kondenzátorech stejné, a proto platí:

$$Q = Q_1 + Q_2 = UC_1 + UC_2$$

Proto platí:

$$C = C_1 + C_2$$

11.10.6 Sériové zapojení

Při sériovém zapojení jsou náboje na kondenzátorech stejné, a proto platí:

$$U = U_1 + U_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

Proto platí:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

11.10.7 Energie kondenzátoru

Je dána vztahem:

$$E_e = \frac{1}{2}UQ = \frac{1}{2}CU^2$$

12 Vznik elektrického proudu, elektrický proud v kovech

12.1 Elektrický proud jako děj

12.1.1 Motivace

Připojíme-li vodič ke zdroji elektrického napětí, vznikne v kovu elektrické pole a elektrony v něm se začnou pohybovat uspořádaně proti směru vektoru elektrické intenzity. Vodičem začne procházet elektrický proud.

12.1.2 Formulace

Proud tedy definujeme jako uspořádaný pohyb elektricky nabitých částic (nemusí to být nutně ionty).

Elektrický proud tedy mohou zprostředkovat kladně i záporně nabitá tělesa.

12.1.3 Směr dohodou

Dohodnutý směr je **pohyb kladného náboje**. To znamená od kladného pólu zdroje k zápornému.

12.1.4 Elektrický proud jako veličina

Elektrický proud je skalární fyzikální veličina. Jednotkou je Ampér a jedná se o základní jednotku soustavy SI.

12.1.5 Vztah

Elektrický proud je definován vztahem:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

12.2 Svorkové napětí zdroje

12.2.1 Definice

Svorkové napětí U se nachází na svorkách zdroje, při postupném zatěžování zdroje klesá.

12.3 Práce elektrostatických sil

12.3.1 Charakteristika

Práce elektrostatických sil je práce, kterou vykonají elektrostatické síly zdroje při přemístění náboje Q v obvodu.

12.3.2 Vztah

Platí vztah:

$$W = U \cdot Q$$

Což můžeme rozepsat jako:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Výkon elektrického proudu pak můžeme vyjádřit jako:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = U \cdot I$$

12.3.3 Práce neelektrostatických sil uvnitř zdroje

Uvnitř zdroje ovšem práci nekonají elektrostatické síly. Obvykle chemické síly zde udržují rozdíl potenciálů na pólech zdroje.

12.4 Elektromotorické napětí

12.4.1 Charakteristika

Elektromotorické napětí U_e je napětí na svorkách elektrického zdroje, ze kterého není odebírán proud. Jedná se o takzvané napětí naprázdno. Napětí naprázdno značíme U_0 a platí, že je stejné jako elektromotorické napětí.

Elektromotorické napětí je vždy větší než napětí zdroje.

12.4.2 Vztah

Elektromotorické napětí lze určit jako podíl práce, kterou musí vykonat neelektrostatické síly uvnitř zdroje na náboj.

$$U_e = \frac{W}{q}$$

12.4.3 Svorkové napětí nezatíženého zdroje

Svorkové napětí nezatíženého zdroje je stejné jako elektromotorické napětí zdroje. A tím pádem i jako napětí naprázdno.

12.5 Zdroje stejnosměrného napětí

- Galvanický článek - je složený ze dvou elektrod a z elektrolytu.
- Fotočlánek - neboli také solární článek, mění dopadající světlo na elektrickou energii.
- Termočlánek - při přiložení ke studenému tělesu a k druhému teplému zároveň (neboť je nutný rozdíl teplot) na něm vzniká napětí.

12.6 Ohmův zákon

12.6.1 Znění

Proud procházející vodičem je přímo úměrný napětí mezi konci vodiče.

$$I = G \cdot U$$

kde konstanta úměrnosti G je vodivost.

12.6.2 Elektrická vodivost

Elektrická vodivost je skalární fyzikální veličina, popisuje nějaký konkrétní vodič. Jednotkou je Siemens. Vyjádří se ze vztahu:

$$G = \frac{1}{R}$$

kde R je odpor.

12.6.3 Vztah

Ohmův zákon s elektrickým odporem tedy zapíšeme jako:

$$U = R \cdot I$$

12.6.4 Voltampérová charakteristika

Graf závislosti proudu na napětí označujeme jako voltampérovou charakteristiku daného vodiče. Značí se V-A charakteristika.

12.7 Elektrický odpor

12.7.1 Definice

Elektrický odpor neboli **rezistence** vodiče závisí na jeho délce, obsahu průřezu a na materiálu, ze kterého je vyroben.

Elektrický odpor je skalární fyzikální veličina, charakterizuje nějaký vodič. Jednotkou je Ω . Je to vlastnost tělesa.

12.7.2 Vztah

Elektrický odpor lze vyjádřit z ohmova zákona:

$$R = \frac{U}{I}$$

12.7.3 Elektrický odpor vodiče

Elektrický odpor vodiče můžeme vyjádřit jako:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

kde ρ je měrný elektrický odpor materiálu, z jakého je vodič vyroben.

12.7.4 Měrný elektrický odpor

Měrný elektrický odpor neboli rezistivita je konstantkou úměrnosti mezi odporem a podílem délky s obsahem průřezu. Charakterizuje daný materiál. Je to skalární fyzikální veličina a jednotkou je ohm metr $\Omega \cdot m$. Značí se ρ . Najdeme ji v tabulkách

12.7.5 Závislost odporu na teplotě

Elektrický odpor kovových vodičů se zvyšující se teplotou roste. Tato závislost je dána vztahem:

$$R = R_0 [1 + \alpha (t - t_0)] = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

kde α je teplotní součinitel pro daný materiál, můžeme ho najít v tabulkách, jednotkou je reciproký kelvin K^{-1} . Dále R_0 je odpor při teplotě t_0 .

12.8 Rezistor

12.8.1 Charakteristika

Rezistor neboli odpor je elektrotechnická součástka. Má stálý odpor R .

12.8.2 Reostat

Reostat je rezistor s proměnným odporem. Toto přepínání odporu je realizováno mechanicky. Rezistor s plynulým nastavením, kde se jezdec pohybuje po odporové dráze, pak nazýváme **potenciometr**.

12.8.3 Sériové zapojení

Pro sériové zapojení rezistorů platí vztah:

$$R = R_1 + R_2$$

Napětí se zde dělí.

$$U = U_1 + U_2$$

12.8.4 Paralelní zapojení

Pro paralelní zapojení platí:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Dělí se proud.

$$I = I_1 + I_2$$

12.9 Ohmův zákon pro uzavřený obvod

12.9.1 Motivace

V uzavřeném elektrickém obvodu mají všechny části obvodu nenulový elektrický odpor. Tedy i zdroj má elektrický odpor. Tento odpor nazýváme **Vnitřní odpor zdroje** a značíme ho R_i .

12.9.2 Znění

Je-li odpor obvodu R a Vnitřní odpor zdroje R_i , pak platí ohmův zákon ve tvaru:

$$U = (R_i + R) I$$

Toto můžeme rozepsat:

$$U_e = R_i I + RI$$

kde

$$U_i = R_i I$$

je úbytek napětí na zdroji.

Svorkové napětí tedy klesá s rostoucím proudem. Toto popisuje **Zatěžovací charakteristika zdroje**.

12.9.3 Vztah pro svorkové napětí

Pro svorkové napětí můžeme pomocí vzorečků nahoře odvodit vztah:

$$U = U_e - R_i I$$

12.9.4 Zkrat

Jeli obvodový odpor nulový, nastane zkrat neboli vedení nakrátko. Vedením poteče velký proud při skoro nulovém napětí. Vztah pro proud:

$$I_z = \frac{U_e}{R_i}$$

Proti zkratu se obvykle bráníme pojistkami a jističi.

12.9.5 Zatěžovací charakteristika zdroje

Zatěžovací charakteristika elektrického zdroje je graf. Popisuje závislost svorkového napětí zdroje na vybíjecím proudu.

12.9.6 Rozdělení zdrojů na měkké a tvrdé

Zdroje elektrického napětí se dělí na:

- Zdroje tvrdé - mají malý vnitřní odpor, svorkové napětí v závislosti na vybíjecím proudu klesá pouze nepatrně.
- Zdroje měkké - mají velký vnitřní odpor, svorkové napětí klesá poněkud strměji.

12.10 Kirchhoffovy zákony

12.10.1 Popis

Kirchhoffovy zákony popisují chování napětí a proudu ve složitějších obvodech.

12.10.2 První kirchhoffův zákon

Neboli zákon pro uzel sítě. Součet proudů vstupujících do uzlu je roven součtu proudů ze smyčky vycházejících.

První kirchhoffův zákon je důsledkem zákona zachování elektrického náboje.

12.10.3 Druhý kirchhoffův zákon

Tento zákon platí pro uzavřenou smyčku elektrického obvodu. Součet všech elektromotorických napětí zdrojů v uzavřené smyčce je stejný jako součet všech úbytků napětí na rezistorech. Úbytkem napětí se rozumí součin RI .

12.10.4 Druhý kirchhoffův zákon vzorcem

Sumační vztah:

$$\sum_{j=1}^m U_{ej} = \sum_{k=1}^n R_k I_k$$

12.10.5 Druhý kirchhoffův zákon použití

Ve smyčce zvolíme libovolně směr obíhání. Elektromotorická napětí orientovaná s tímto směrem píšeme kladně, opačná pak záporně. Úbytky napětí na odporech píšeme kladně, pokud zvolená orientace proudu souhlasí se směrem obíhání, jinak záporně.

12.11 Elektrická práce

12.11.1 Definice

Při přenesení náboje ve vnější části obvodu s napětím U konají elektrické síly práci. Tuto práci můžeme vyjádřit jako:

$$W = Q \cdot U$$

Pokud je proud konstantní, tak můžeme rozepsat jako:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

12.11.2 Odvození vztahu pro práci

Podobně lze zapomoci vztahu pro elektrickou práci nahoře a ohmova zákona odvodit další vztahy pro elektrickou práci.

12.11.3 Jouleovo teplo

Průchodem proudu se vodiče zahřívají. Nedochází-li k jiné spotřebě elektrické energie, tak se všechna energie spotřebuje k zahřívání vodiče - mění se v **Jouleovo teplo**. Toto teplo můžeme vyjádřit jako:

$$Q_J = W = UIt = RI^2t = \frac{U^2}{R}t$$

12.12 Výkon elektrického proudu

12.12.1 Výkon

Výkon spotřebiče je práce, kterou vykoná za nějaký čas. Vztah:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = U \cdot I$$

Dosazením z ohmova zákona:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Jednotkou výkonu je watt.

12.12.2 Účinnost spotřebiče

Účinnost spotřebiče je dána podílem výkonu a příkonu:

$$\eta_s = \frac{P_s}{P}$$

12.12.3 Účinnost zdroje

Účinnost zdroje je podíl výkonu proudu ve vnějším obvodu $P = U \cdot I$ a výkonu zdroje $P_Z = U_e I$. Lze vyjádřit vztahem:

$$\eta_z = \frac{P}{P_z} = \frac{UI}{U_e I} = \frac{U}{U_e} = \frac{RI}{(R_i + R)I} = \frac{R}{(R_i + R)}$$

13 Elektrický proud v polovodičích, kapalinách a plynech

14 Stacionární magnetické pole

14.1 Charakteristika

14.1.1 Popis a jednotka

Toto magnetické pole se nemění s časem. Veličinou popisující magnetické pole je magnetická indukce. Značí se \vec{B} a jednotkou je T - Tesla.

14.1.2 Zdroje

- Trvalé magnety
- Zeměkoule
- Vodiče, kterými protéká proud

14.2 Magnety

14.2.1 Výroba

Magnety se vyrábí z **feromagnetických látek**. Feromagnetické látky jsou například:

- Fe
- Co
- Ni
- Neodym

Magnetka je malý magnet v kompasu.

14.2.2 Popis

Každý magnet má 2 póly, značí se:

N	North	modře
S	South	červeně

Uprostřed magnetu je netečné pásmo. Souhlasné póly magnetu se odpuzují, nesouhlasné se přitahují.

14.2.3 Země

Země je velký magnet. Jádro z Fe rotuje a poloha pólů se s časem mění. Pole bylo v minulosti několikrát otočeno.

14.3 Vodič s proudem

14.3.1 Popis

Příčinou elektrického proudu je pohyb elektronů ve vodiči. Magnetické indukční čáry tvoří soustředné kružnice okolo vodiče. Směr těchto čar popisuje **Ampérovo pravidlo pravé ruky**.

14.3.2 Magnetické indukční čáry

Křivky popisující magnetické pole. Analogie tečna křivky \rightarrow směr magnetky v tomto bodě. Lze je zviditelnit pomocí pilin z Fe například.

Jdou od N pólu k S pólu. $\mathbf{N} \rightarrow \mathbf{S}$. Jsou to uzavřené křivky.

14.4 Magnetické pole

14.4.1 Charakteristika

Magnetické pole je pole **vírové**. To znamená, že všechny čáry tohoto pole jsou uzavřenými křivkami. (Narozdíl od pole elektrického). Elektrické pole je polem **zřídlovým**.

14.4.2 Magnetická síla

Na vodič s proudem působí magnetická síla: vodič musí být na siločáry kolmý. Magnetickou sílu značíme F_m .

14.4.3 Homogenní magnetické pole

Magnetické indukční čáry jsou rovnoběžné a velikost vektoru magnetické indukce \vec{B} je všude stejná. Pro vložený vodič s proudem, který svírá uhel α s magnetickými čarami platí:

$$F_m = BIl \sin \alpha$$

směr této síly je stejný, jako směr indukčních čar.

14.5 Magnetická indukce pole přímého vodiče

Pro vodič s proudem platí vztah:

$$B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{d}$$

kde μ je permeabilita prostředí pro tuto platí:

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

14.6 2 rovnoběžné vodiče s proudem

Stejně směry - přitahují se, opačné směry se odpuzují. Platí vztah:

$$F_m = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l$$

kde d je vzdálenost vodičů a l je působná délka v metrech

14.7 Magnetické pole cívky

14.7.1 Popis

Uvnitř cívky jsou čáry rovnoběžné s osou cívky. Nachází se zde homogenní magnetické pole. Platí **Ampérovo pravidlo pravé ruky pro cívku**

14.7.2 Využití

Používá se jako tyčový magnet, elektrické relé, zvonek, jistič atd.

14.8 Částice s nábojem v magnetickém poli:

Vztah pro sílu působící na 1 částici:

$$F_m = B |Q| v$$

směr síly závisí na znaménku elektrického náboje.

14.8.1 Flemingovo pravidlo

Flemingovo pravidlo levé ruky platí pro protony, flemingovo pravidlo pravé ruky platí pro elektrony.

14.8.2 Lorenzova síla

Na částici v poli může působit jak elektrická, tak i magnetická síla. **Lorenzova síla** je pak vektorovým součtem těchto dvou sil.

14.9 Magnetické vlastnosti látek

14.9.1 Dělení látek

Magnetické vlastnosti látek závisí na tom, z jakých částic se skládají.

- atomy **diamagnetické** - pole elektronů v obalech atomů se vyruší.
- atomy **paramagnetické** - toto pole se nevyruší.

Látky se tedy dělí na:

- Látky diamagnetické
- Látky paramagnetické
- Látky feromagnetické

14.9.2 Látky diamagnetické

Mají relativní permeabilitu $\mu_r = 0.98$. Mírně tedy zeslabují magnetické pole. Patří mezi ně: Sklo, plyny, organické látky, zlato

14.9.3 Látky paramagnetické

Mají relativní permeabilitu $\mu_r = 1.01$. Mírně tedy zesilují magnetické pole. Patří mezi ně: Vzduch, soli, hliník, platina

14.9.4 Látky feromagnetické

Mají relativní permeabilitu $\mu_r = 100$. Značně tedy zesilují magnetické pole. Patří mezi ně: Fe, Co, Ni, ferily (sloučeniny oxidů železa)

14.9.5 Magnetizace feromagnetických látek

Některé látky můžeme zmagnetovat. V látce jsou totiž mikroskopické oblasti - **domény** - nahodile uspořádány. Magnetizací se všechny otočí jedním směrem.

14.9.6 Dělení feromagnetických látek

Látky feromagnetické dělíme na:

- Látky magneticky měkké - neudrží si magnetické pole
- Látky magneticky tvrdé - udrží si magnetické pole po oddálení magnetu

14.9.7 Vlastnosti feromagnetických látek

Feromagnetismus je vlastností struktury látky, ne atomů. Feromagnetické mohou být pouze krystalické látky.

14.9.8 Curiova teplota

Po dosažení této teploty ztrácí látka své magnetické vlastnosti a stává se paramagnetickou

14.10 Využití elektromagnetů

Např. relé, jeřáby, magnetický záznam signálu, magnetické čipy

Ferit barnatý - má velký elektrický odpor, vyrábí se z něj trvalé magnety.

15 Nestacionární magnetické pole

15.1 Charakteristika

Vektor magnetické indukce \vec{B} se v nestacionárním poli s časem mění.

15.2 Zdroje

- nepohybující se vodič s časově proměnným proudem
- pohybující se vodič s proudem
- pohybující se permanentní magnet

15.3 Pokus s magnetem a cívkou

15.3.1 Popis

Pozorujeme výchylku ampérmetru - v obvodu se indukoval elektrický proud. Ručička ampérmetru ukáže větší výchylku, když magnet posuneme rychleji.

15.3.2 Důsledek

Elektromagnetická indukce (změna mag. pole v čase je příčinou el. proudu). Na koncích cívky se indukuje elektromotorické napětí U_i , důsledkem je proud I_i .

15.4 Pokus se 2 cívkami na společném jádře

15.4.1 Popis

K první cívce je připojen zdroj napětí, ke 2. cívce zdroj připojen není (je zde pouze ampérmetr).

15.4.2 Průběh

V okamžiku zapnutí obvodu primární cívky se vychýlí ručička ampérmetru v sekundárním obvodu. Pokud vypneme proud v primární cívce, tak se opět indukuje v 2. cívce proud, tentokrát ovšem opačného směru. Příčinou je samozřejmě elektromagnetická indukce.

15.5 Magnetický indukční tok

15.5.1 Charakteristika

Magnetický indukční tok Φ [Weber]; Wb - je to skalární fyzikální veličina. Slouží k popisu elektromagnetické indukce. Charakterizuje magnetické pole, které prochází plochou určitého závitu.

Závisí na:

- Vektoru magnetické indukce \vec{B}

- Na obsahu plochy závitu

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

úhel α měříme mezi normálou a magnetickými indukčními čarami.

15.5.2 Změna magnetického indukčního toku s časem

Tato změna může nastat buď změnou magnetické indukce $\Delta \vec{B}$, nebo změnou plochy S . V praxi změnou úhlu α (cívka se otáčí okolo své osy rychlostí ω).

$$\Phi = BS \cos \omega t$$

Veličina se tedy mění harmonicky (indukované napětí má harmonický průběh).

15.6 Faradayův zákon elektromagnetické indukce

Znění:

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

znaménko minus vysvětluje Lenzův zákon. Indukované napětí působí proti změně magnetického indukčního toku.

1821 - Faraday

15.7 Indukovaný proud

15.7.1 Popis

Příčinou výchylky voltmetru je změna $\Delta \Phi$. Pokud do kroužku vsuneme magnet, kroužek se vychýlí ve směru pohybu magnetu. Indukuje se proud v uzavřeném vodiči.

$$I_i = \frac{U_i}{R}$$

15.7.2 Vysvětlení

Vzniká velký indukovaný proud (malé napětí). Magnetické pole, které má kroužek, působí proti změně, která ho vyvolala. Magnet a kroužek se proto odpuzují, pokud jde magnet do kroužku. Pokud jde magnet z kroužku, tak se magnet a kroužek přitahují.

15.7.3 Lenzův zákon

Indukovaný proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně Φ . Tento zákon je zahrnut ve Faradayově zákoně ve formě znaménka minus.

15.7.4 Využití

Indukované proudy mají v praxi velké využití:

- Brzdy na rotopedu
- elektroměr
- detektory kovů

15.8 Pokus s paralelně zapojenými žárovkami

15.8.1 Popis

Po sepnutí proudu se nejdříve rozsvítí žárovka ve větvi s rezistorem

15.8.2 Příčina

Příčinou je indukované elektrické pole na cívce. Změna proudu při zapnutí \rightarrow změna magnetického indukčního toku \rightarrow indukuje se napětí opačné polarity \rightarrow proud narůstá pomaleji.

15.8.3 Vlastní indukce u cívky

Indukčnost je fyzikální veličina, vodič má indukčnost 1 Henry, jestliže při změně proudu o 1 A za 1 sekundu indukuje napětí 1 volt.

Indukčnost cívky:

$$\Phi = IL$$

Z toho lze odvodit Faradayův zákon:

$$U_i = -\frac{IL}{\Delta t}$$

Největší hodnoty má indukčnost u cívek, které mají uzavřené feromagnetické jádro Jsou to **Tlumivky** - nalézají se u "startéru" zářivky.

15.9 Přechodný děj

15.9.1 Popis

U pokusu se 2 žárovkami ve větvi s rezistorem roste proud skokově:

$$I_0 = \frac{U_e}{R}$$

Ve větvi s cívkou: indukované napětí U_i :

$$I = \frac{U_e + U_i}{R}$$

Při vypnutí obvodu svítí déle žárovka s cívkou Proud ve větvi s cívkou:

$$I = \frac{U_e - \frac{L\Delta I}{\Delta t}}{R}$$

kde zlomek $\frac{L\Delta I}{\Delta t}$ je roven indukovanému napětí na cívce, toto napětí má opačnou polaritu oproti elektromotorickému napětí U_e , proto minus.

15.9.2 Praktický význam

Doutnavka - rozpojení obvodu - záblesk - zabráňujeme připojením kondenzátoru

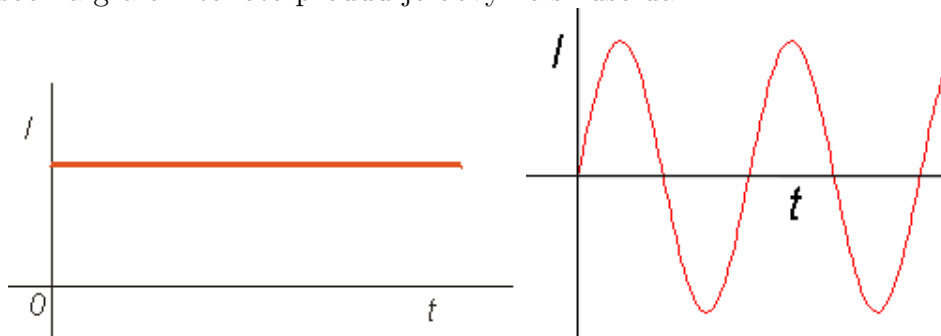
15.10 Energie magnetického pole cívky

$$E = \frac{1}{2}LI^2$$

16 Střídavý elektrický proud

16.1 Charakteristika

Je to elektromagnetické kmitání, jehož zdrojem je generátor střídavého proudu - **alternátor**. S časem se mění jeho okamžité hodnoty (směr a velikost proudu se periodicky mění). To znamená, že na rozdíl od stejnosměrného proudu má harmonický průběh a grafem tohoto proudu je obvykle sinusoida.



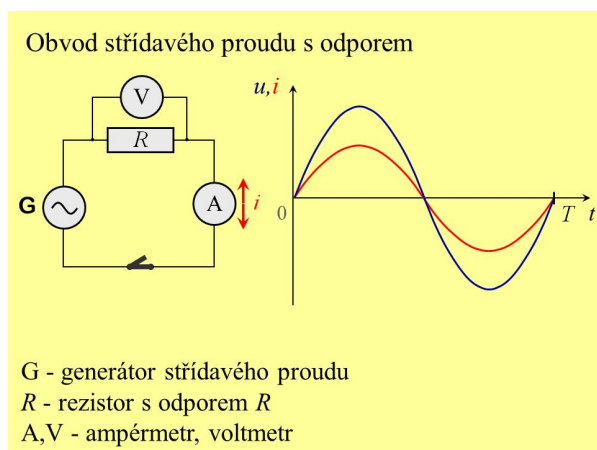
16.2 Elektrické obvody se střídavým proudem

16.2.1 Elektrotechnické součástky v elektrickém obvodu

V obvodu se střídavým proudem mají tyto součástky různé parametry:

- **Rezistor** - odpor R
- **Cívka** - indukčnost L
- **Kondenzátor** - kapacita C

16.2.2 Jednoduchý elektrický obvod s rezistorem



Platí zde Ohmův zákon, okamžitá hodnota proudu se určí podle vztahu

$$i = \frac{u}{R}$$

kde u je okamžitá hodnota napětí, jenž se dá rozepsat pomocí

$$u = U_m \sin \omega t$$

kde U_m je amplituda napětí.

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$

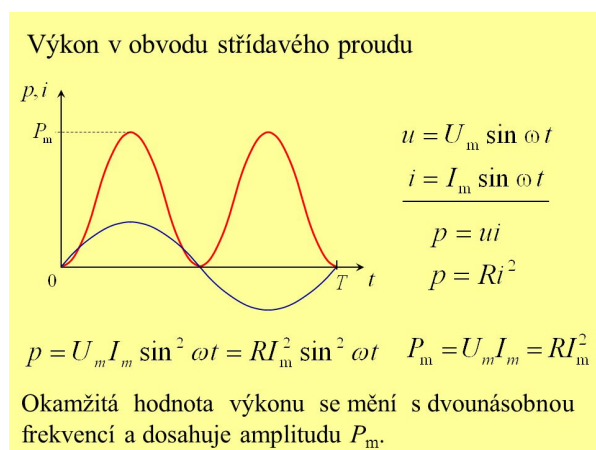
kde I_m je amplituda proudu. Okamžitou hodnotu proudu můžeme určit ze vztahu

$$i = I_m \sin \omega t$$

Odpor v obvodu se střídavým proudem zůstává stejný. Rezistor **nemá vliv** na fázový rozdíl napětí a proudu.

Časový průběh napětí a proudu V okamžiku , kdy je napětí 0, je proud také 0. Podobně v okamžiku, kdy je napětí $u = U_m$ je i $i = I_m$. Obě veličiny mají stejnou fázi, fázový rozdíl $\Delta\phi$ je roven 0.

16.3 Výkon v obvodě se střídavým proudem



16.3.1 Výkon

Výkon v obvodu se stejnosměrným proudem:

$$P = UI$$

$$U = RI \rightarrow P = RI^2$$

Výkon v obvodu se střídavým proudem: okamžitá hodnota výkonu se s časem mění

$$p = ui$$

$$p = Ri^2$$

$$p = Ri_m^2 \sin^2 \omega t$$

Časový průběh výkonu: graf je velmi komplikovaný (důsledek \sin^2)

16.3.2 Práce

Celkovou práci obvodu se střídavým proudem lze získat jako obsah plochy v grafu závislosti výkonu na čase. Práci můžeme vypočítat pomocí střední hodnoty výkonu:

$$p = \frac{W}{t} = \frac{P_m}{2} = \frac{RI_m^2}{2}$$

kde p je střední hodnota výkonu. Harmonický střídavý proud má stejný střední výkon jako proud stejnosměrný. Porovnáním:

$$RI^2 = \frac{RI_m^2}{2}$$

lze vypočítat efektivní hodnoty střídavého proudu a napětí.

16.4 Efektivní hodnoty pro střídavý proud

Efektivní hodnotu střídavého proudu lze vyjádřit jako

$$I_f = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Podobně lze vyjádřit hodnota efektivního napětí

$$U_f = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Tyto hodnoty odpovídají hodnotám stejnosměrného proudu, jenž má v obvodu s rezistorem stejný výkon jako daný proud střídavý.

16.5 Obvody se změnou fáze napětí a proudu

16.5.1 Obvod s cívkou

Pokud střídavý proud prochází například vinutím cívky, tak se indukuje magnetické pole, které se s časem mění. To způsobuje indukci napětí v cívce. Toto napětí má podle Lenzova zákona opačnou polaritu, než má zdroj. Indukčnost cívky tedy způsobuje zpoždění proudu za napětím. Zpoždění je zde:

$$\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$$

Pro okamžité hodnoty proudu a napětí tedy platí:

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \cos \omega t$$

16.5.2 Induktance cívky

Cívka se v tomto obvodu najednou chová jako odpor. Tento odpor se nazývá induk-tance a značí se X_L , jednotkou je Ω . Vypočítá se pomocí Ohmova zákona:

$$X_L = \frac{U}{I}$$

Výpočet pomocí frekvence:

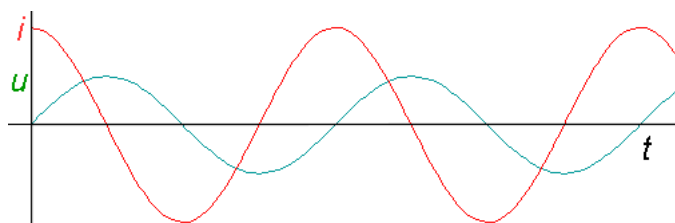
$$X_L = \omega L$$

kde L je indukčnost cívky a za ω můžeme dosadit:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{t}$$

Cívky se proto používají jako tlumivky.

16.5.3 Obvod s kondenzátorem



Pokud do obvodu se střídavým proudem zapojíme kondenzátor, tak se periodicky nabíjí a vybíjí desky, vzniká nabíjecí proud(nejsilnější, když je kondenzátor vybitý). Fázový posun napětí za proudem je roven

$$\Delta\phi = -\frac{\pi}{2}$$

pro napětí tedy platí vztah:

$$u = -U_m \cos \omega t$$

16.5.4 Kapacitance kondenzátoru

Kondenzátor se také chová jako prvek s odporem. Tento odpor se nazývá kapacitance a značí se X_C , jednotkou je Ω . Vypočítá se jako:

$$X_C = \frac{U}{I}$$

Výpočet pomocí frekvence:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

kde C je kapacita kondenzátoru a ω uhlová rychlost

16.6 Výkon ve složitějším obvodu se střídavým proudem

Je důležité, jaké součástky jsou v obvodu zapojeny. Výkon cívky v obvodu se střídavým proudem je nulový. Také výkon v obvodu s kondenzátorem je nulový (energie proudu se mění na energii kondenzátoru).

V praxi je podstatné, že čím menší je fázový rozdíl, tím větší je činný výkon proudu. Tento výkon lze vyjádřit jako:

$$P = U_f I_f \cos \phi$$

kde $\cos \phi$ nazýváme jako účinník. Tento určuje účinnost přenosu energie ze zdroje do spotřebiče.

16.7 Generátor střídavého proudu

Neboli alternátor. Nachází se v autě nebo v elektrárně. Je tvořen rotorem a statorem. Rotor je permanentní magnet a stator je soustavou tří cívek (v elektrárně), kde se indukuje napětí. Napětí na cívkách jsou posunuta o $1/3$ periody. Napětí lze popsat jako:

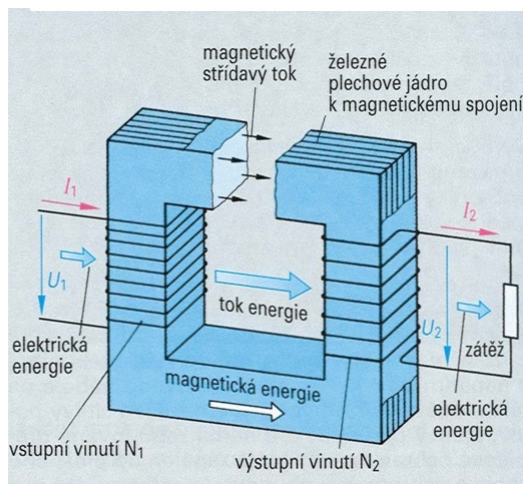
$$\begin{aligned} u_1 &= U_m \sin \omega t \\ u_2 &= U_m \sin \omega t - \frac{2\pi}{3} \\ u_3 &= U_m \sin \omega t - \frac{4\pi}{3} \end{aligned}$$

V elektrárnách se nachází turboalternátor (je přímo spojený s hřídelí turbíny). Nachází se zde také nulovací vodič (na obrázku). Mezi nulovacím vodičem a fází je fázové napětí $u_f = 230V$. Sdružené napětí je mezi jednotlivými fázemi (400V). Mezi sdruženým a fázovým napětím je vztah:

$$u_{12} = u_1 \sqrt{3}$$

Spousta spotřebičů (pily atd.) se připojuje zároveň ke všem fázím najednou. Rozlišujeme zapojení do hvězdy a zapojení do trojúhelníku.

16.8 Transformátor



16.8.1 Charakteristika

Založen na principu el.indukce. Transformátor používáme, když chceme zvýšit nebo snížit napětí, nebo proud. Typy transformátorů

- jednofázové - např. adaptér k mobilu
- trojfázové - např. u elektráren nebo u rozvoden

16.8.2 Složení transformátoru

Transformátor se skládá z primární a sekundární cívky. Počet závitů primární cívky se značí n_1 , také U_1 a I_1 . Druhá cívka je značena respektivně.

Rovnice transformátoru:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} = k$$

kde k je transformační poměr. Tedy udává, kdy nastane transformace nahoru a kdy dolů.

16.8.3 Další popis transformátoru

I přesto, že je transformátor vysoce účinné zařízení, (přes 90 procent), vznikají u něj také ztráty. Vznikají především zahřívání vodičů a působením vířivých proudů. Chlazení transformátorů se provádí běžně vzduchem nebo olejem. Pro transformaci proudů platí obrácený poměr.

$$U_1 I_1 \cos \phi = U_2 I_2 \cos \phi$$

rovnice pro transformaci proudu:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

16.8.4 Využití

Transformátory mají široké využití v praxi, používají se na transformaci vysokého napětí na nízké napětí a obráceně. V nabíječkách, v adaptérech, svářečkách atd.

16.9 Přenosová soustava

Přenos elektrické energie se realizuje především převedením nízkého napětí v elektrárnách na vysoké a to pak zase na nízké v domácnostech. Přenáší se střídavý proud. Rozdělujeme hodnoty vysokého napětí:

- velmi vysoké napětí (mezistátní) 110 000 kV až 400 000 kV
- vysoké napětí (vnitrostátní přenos) 22 000 kV
- nízké napětí - rozvod k jednotlivým spotřebitelům

Vlivem ztrát se přenášený výkon snižuje.

$$P = RI^2$$

- závisí na druhé mocnině proudu (R je odpor vedení) Menší proud znamená rapidně nižší ztráty, proto transformujeme napětí na vysoké hodnoty.

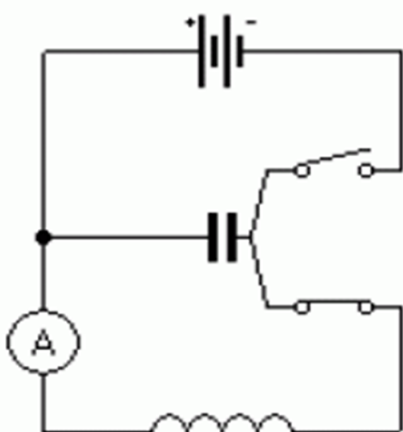
17 Elektromagnetické vlnění a kmitání

Zdrojem střídavého napětí různých frekvencí jsou elektromagnetické oscilátory.

17.1 LC obvod

17.1.1 Charakteristika

Oscilační obvod, kterým se budeme zabývat se nazývá **LC** obvod. **L** je zde z toho důvodu, že je tvořen cívkou s parametrem L , tedy indukčnost. **C** proto, že je tvořen i kondenzátorem s parametrem kapacity.



17.2 Děje v LC obvodu

Prvně je potřeba nabít kondenzátor v LC obvodu. To se provede tak, že se obvod připojí ke zdroji napětí. Přepínačem se poté převede napětí na desky kondenzátoru a poté je vyřazen zdroj.

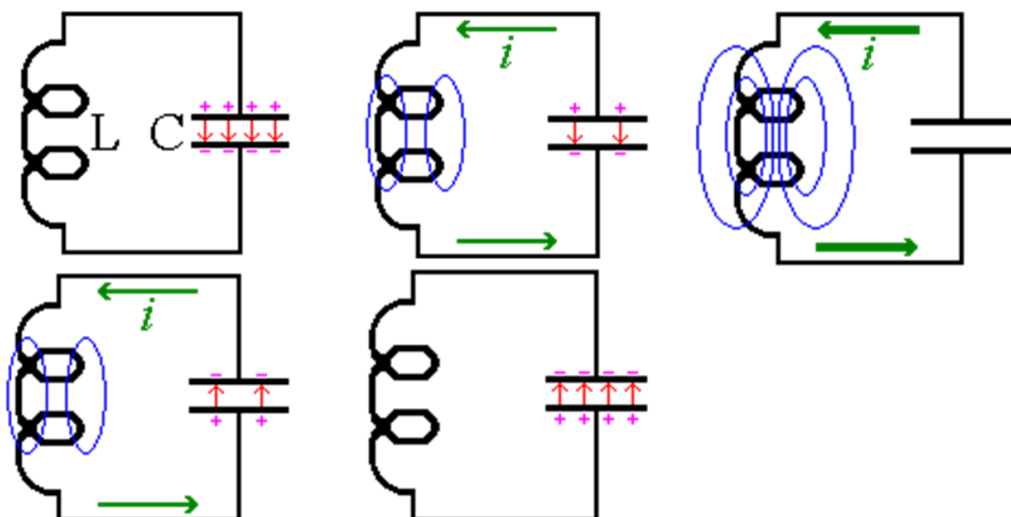
Kondenzátor zůstává nabitý ze zdroje stejnosměrného proudu. Mezi deskami vzniklo elektrické pole. To má počáteční hodnotu energie oscilátoru.

Poté spojíme přepínačem kondenzátor s cívkou. **Zde začíná vlastní kmitání.** V první polovině periody se začne kondenzátor vybíjet, napětí klesá a proud roste a energie pole kondenzátoru se zmenšuje. Kolem cívky se tedy začíná vytvářet magnetické pole. Ve zkratce, energie elektrického pole se mění na energii magnetického pole cívky.

V cívce se proto indukuje napětí, a obvodem začne procházet indukovaný proud **opačného** směru než proud vybíjejícího se kondenzátoru.

Tento proud způsobuje opětovné nabíjení kondenzátoru, polarita desek je nyní opačná. Energie se přeměnily zase zpátky.

V druhé polovině periody pokračuje děj opačným směrem. Energie se opět 2x změní.



17.2.1 Závislost napětí v LC obvodu na čase

Kmity napětí a proudu jsou navzájem posunuty o $\frac{1}{4}$ periody. Tomu odpovídá fázový rozdíl mezi napětím a proudem $\frac{\pi}{2}$. To znamená, že když je napětí největší, tak obvodem prochází nejmenší proud a obráceně.

17.2.2 Odpor v LC obvodu

Ovšem časem se amplitudy napětí a proudu zmenšují. Důvodem je elektrický odpor v obvodu, část energie obvodu se při měnění v teplo. Elektromagnetické kmitání oscilačního LC obvodu je **tlumené**.

17.2.3 Perioda kmitání LC obvodu

Uvažujeme ideální obvod, jenž nemá elektrický odpor. kmitání označujeme jako **vlastní kmitání** oscilátoru. Uvažujme, že $U_C = U_L$, pak:

$$X_C I = X_L I$$

Proudy, které procházejí cívkou nebo kondenzátorem jsou stejné:

$$\frac{1}{\omega_0 C} = \omega_0 L$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

Frekvence úhlového kmitání pro periodu nám pomůže určit samotnou periodu:

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

Z toho plyne **Thompsonův vztah** pro periodu:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

Pro výpočet frekvence použijeme vztah pro periodu.

17.2.4 Napětí a proud v LC obvodu

Pro okamžité napětí platí:

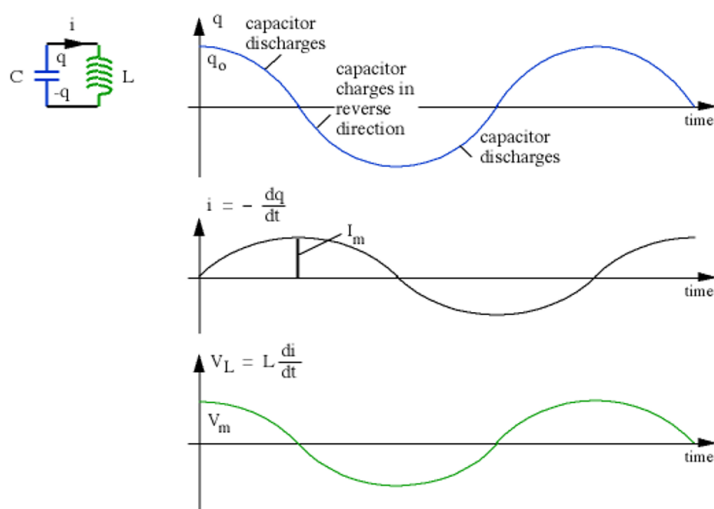
$$u = U_m \cos \omega_0 t$$

Proud je opožděný o $\frac{\pi}{2}$ platí tedy vztah:

$$i = I_m \cos \omega_0 t - \frac{\pi}{2}$$

Posunutí nám ze cos vytvoří sin:

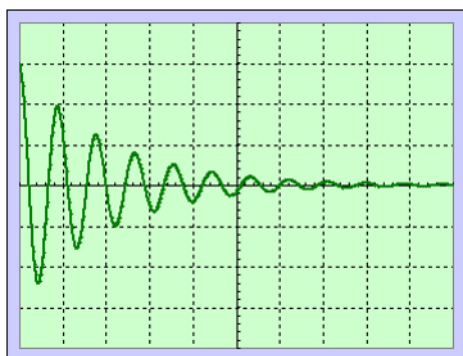
$$i = I_m \sin \omega_0 t$$



17.2.5 Analogie k mechanickému oscilátoru

Analogie ke kmitání pružinového oscilátoru:

- okamžitá výchylka y odpovídá náboji procházejícímu obvodem
- rychlost u pružinového oscilátoru odpovídá proudu
- potenciální energie E_p se mění v E_k , to odpovídá přeměně elektrické energie v energii magnetickou
- hmotnost závaží odpovídá indukčnosti cívky
- tuhost pružiny odpovídá reciproká kapacita $\frac{1}{C}$



17.2.6 Nucené kmitání Elektromagnetického oscilátoru

Nucené kmitání Elektromagnetického oscilátoru vzniká tehdy, když se budeme snažit, aby amplitudy proudu a napětí byly konstantní. Energie se ztrácí ve formě tepla (odpor obvodu).

V praxi oscilátor připojíme ke zdroji harmonického napětí, oscilátor poté začne kmitat s frekvencí zdroje. Toto kmitání již není tlumené. Nezávisí taky na parametrech obvodu.

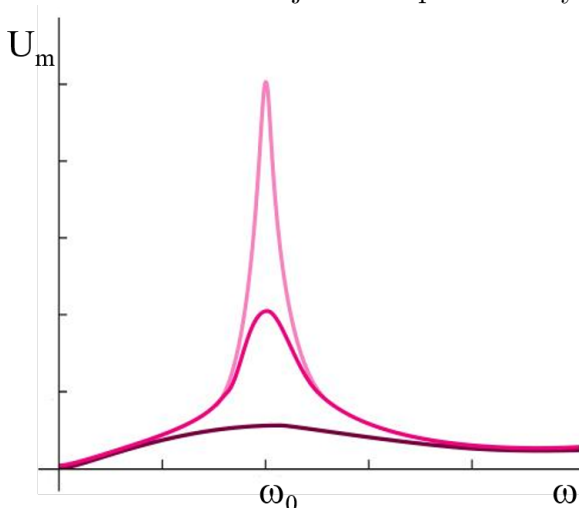
Rezonanční křivka je závislost napětí na úhlové frekvenci ω .

Při určité hodnotě úhlové frekvence ω (to je právě ω_0) dojde k tomu, že se výchylka napětí maximálně zvětší. Pokud stále zvětšujeme úhlovou frekvenci, tak již dochází k poklesu amplitudy napětí.

17.2.7 Odpor obvodu a rezonanční křivka

Pokud budeme mít v obvodu nějaký větší odpor způsobený cívkou, tak nastává tlumení (Rezonanční křivka je více do šířky) Pokud v obvodu nebude odpor, tak zůstává křivka velmi úzká. \Rightarrow velmi vysoká hodnota napětí U_m .

Nucené kmitání má největší amplitudu když $\omega = \omega_0$. Nastává rezonance



17.2.8 Rezonance

Využití v praxi je obrovské, používá se při ladění obvodů, signálů. Oscilační obvod se nachází v radiu nebo v televizi.

Při ladění stanice se snažíme měnit parametry oscilačního obvodu tak, abychom docílili rezonance. Většinou měníme právě kapacitu. Dojde k zesílení signálu a naladění stanice.

17.3 Elektromagnetické vlnění

Vznik Elektromagnetického vlnění je spojen s skotským fyzikem Maxwellem. Maxwellovy rovnice popisující toto vlnění, vyplývá z nich např. konstantní rychlost světla c , dále Coulombův zákon atd.

17.3.1 Vznik

Pokud bychom měli zdroj střídavého napětí o nízké frekvenci, tak je v jednoduchém obvodu (ve dvou vodičovém vedení) všude v jeden okamžik napětí stejné.

Nicméně není tomu tak v obvodu se střídavým napětím o vysoké frekvenci, = ω , změny napětí zde dosahují na konec vedení se zpožděním

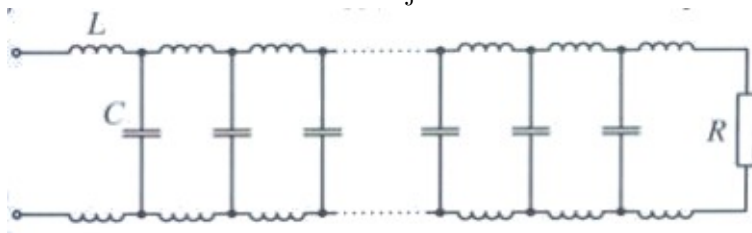
17.3.2 Dvouvodičové vedení

Jsou to 2 dráty, rovnoběžně vedle sebe. Můžeme si je představit jako řadu na sebe navzájem navazujících LC obvodů, kde

- L koresponduje s délkou obou drátů
- C koresponduje s vzdáleností vodičů od sebe

Pokud bychom měli nízkou frekvenci, tak je mezi vodiči stejné napětí (50 Hz odpovídá vlnová délka asi 6000 km)

Pokud budeme mít velkou frekvenci napětí, tak napětí mezi dvojicí vodičů závisí na čase a na vzdálenosti od zdroje.



17.3.3 Popis

Vztah pro vlnovou délku:

$$\lambda = cT$$
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Rovnice vlnění:

$$u = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Pokud jsou soustavy větší než vlnová délka, tak se zde vlnová povaha projevuje

17.3.4 Vysoké frekvence zdroje ve dvouvodičovém vedení

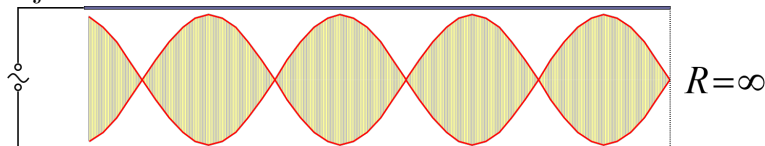
Napětí je různé, náboj je ve vodičích rozložen nepravidelně. Elektrické pole je nepravidelné. Současně se zde nachází i magnetické pole. Vektor magnetické indukce \vec{B} je vždy kolmý na \vec{E} = ω , vzniká proměnné elektromagnetické pole toto pole se nepřenáší vodiči.

17.3.5 Vedení naprázdno

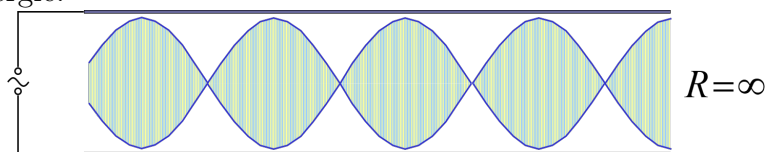
Pokud máme vedení na konci bez spotřebiče, hovoříme o **vedení naprázdno**.

vlnění se odráží na konci vodiče a skládá se s vlněním přicházejícím. V tomto případě vzniká stojaté elektromagnetické vlnění. Na konci tohoto vedení je $I = 0$, je tam $u = U_m$.

Uzly a kmitny tohoto vlnění(proudu) Můžeme zjišťovat žárovkou. Pro napětí použijeme doutnavku.

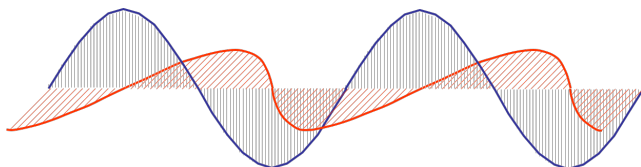


Mezi vektory el.indukce a mag. pole je fázový rozdíl $\pi/2$. vlněním se nepřenáší energie.

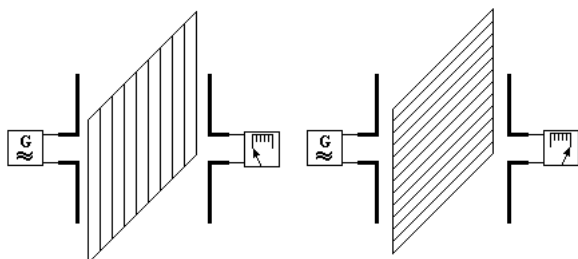


17.4 Vlastnosti elektromagnetického vlnění

- Elektromagnetická vlna má 2 navzájem neoddělitelné složky
 - jsou to složky \vec{B} a \vec{E} .
 - Jsou vždy na sebe kolmé
 - mají souhlasnou fázi
 - Elektromagnetické vlnění patří mezi vlnění příčné (vlnění kmitá kolmo na směr vlnění)



- Elektromagnetické vlnění je lineárně polarizované (směr vektorů \vec{B} a \vec{E} se nemění) Pokud je vlnění vyzařováno dipólem, tak má toto vlnění v rovině dipólu vektor \vec{E} V praxi je důležité, aby anténa byla orientována stejně jako dipól vysílač



- Elektromagnetické vlnění se odráží při dopadu na vodivou kovovou plochu nastává odraz v praxi satelitní talíř soustředí vlnění do 1 bodu

- difrakce neboli ohyb za překážku
- rychlost vlnění - ve vakuu je to c rychlost ovlivňuje hlavně ϵ_r a μ_r

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

18 Maturitní otázka číslo 18

19 Maturitní otázka číslo 19

20 Kvantová fyzika

20.1 Atomismus

20.1.1 Charakteristika mikrosvěta

20.1.2 Atomismus

20.2 Thomsonův model atomu

20.3 Millikanův pokus

20.4 Rutherfordův pokus

20.5 Pojmy z jaderné fyziky

20.5.1 Nuklid

20.5.2 Izotop

20.5.3 Vazebná energie

20.5.4 Hmotnostní úbytek

20.6 Záření absolutně černého tělesa

20.7 Planckova kvantová hypotéza

20.8 Vnitřní fotoelektrický jev

20.9 Vnější fotoelektrický jev

20.10 Comptonův jev

20.11 Foton

20.12 De Broglieho hypotéza

20.13 Vlnová funkce

20.14 Vlnové vlastnosti částic

20.14.1 Tunelový jev

20.14.2 Princip korespondence

20.14.3 Kvantování energie

20.14.4 Energetické hladiny

20.14.5 Kvantový stacionární stav

20.14.6 Heisenbergovy relace neurčitosti

21 Fyzika elektronového obalu

21.1 Atomová fyzika

21.1.1 Charakteristika

Atomová fyzika je fyzikální disciplína, která se zabývá stavbou elektronového obalu atomu. Atom se skládá z jádra a elektronového obalu a je to chemicky nedělitelná částice hmoty. Jádro pak zkoumá jaderná fyzika.

21.1.2 Atomová hypotéza

Atomovou hypotézu formuloval chemik J. Dalton:

- Prvky se skládají z dále nedělitelných částic - atomů.
- Při chemických reakcích se atomy nemění - jen se přeskupují.
- Spojením atomů vznikají molekuly.

Později byla tato hypotéza ověřena.

21.2 Spektroskopie

21.2.1 Charakteristika

Spektroskopie je fyzikální obor zabývající se vznikem a vlastnostmi spekter. Spektroskopie přispívá k poznání stavby elektronového obalu atomu.

21.2.2 Spektrum

Spektrum je grafickým záznamem frekvencí obsažených v nějakém elektromagnetickém záření. Dají se podle něj charakterizovat látky, které toto elektromagnetické záření vyzářily, nebo které některé jeho frekvence absorbovaly.

Spektra dělíme na:

- Emisní spektra - vysílaná tělesem - tyto spektra dále dělíme na:
 - Čárová spektra
 - Spojitá spektra
- Absorpční spektra - pohlcovaná

21.2.3 Emisní spektra

Emisní spektrum je tvořeno souborem frekvencí elektromagnetického záření, které daná látka vyzařuje. Energie fotonů tohoto elektromagnetického záření je rovna rozdílu energií energetických hladin v částicích této látky - například u plynů přechody elektronů mezi slupkami.

Emisní spektra dělíme na čárová a spojitá.

21.2.4 Čárová spektra

Čárová spektra vyzařují plyny při vysokých teplotách. Elektrony v atomech plynu přeskočí na vyšší energetické hladiny (jsou **excitovány**). Při přechodech opět na nižší hladiny jsou vyzařeny elektromagnetické vlny - fotony.

Spektrální čáry jsou charakteristické pro každý prvek, analýzou těchto čar lze zjistit přesné složení vzorku. Tomuto procesu se říká **spektrální analýza**. Základním nástrojem spektrální analýzy je tedy **Spektroskop**.

21.2.5 Spojitá spektra

Spojité spektra vyzařují kapaliny a pevné látky. Příčinou je excitace molekul a následné vyzaření fotonu při přechodu z vyšší energetické hladiny na nižší.

V bílém světle jsou obsaženy všechny vlnové délky viditelného spektra, proto se jedná o spojité spektrum.

21.2.6 Absorpční spektra

Absorpční spektrum je tvořeno systémem temných čar, popřípadě pásů. Tyto temné čáry nebo pásy vznikají při průchodu elektromagnetického záření nějakou látkou - například plynem.

Absorpční spektrum vzniká z důvodu pohlcení některých vlnových délek látkou. Pohlcují se ty vlnové délky, které má daná látka ve svém emisním spektru.

21.2.7 Fraunhoferovy čáry ve slunečním spektru

Absorpční čáry slunečního spektra vznikají při průchodu elektromagnetického záření plynným obalem Slunce a atmosférou Země. Tyto čáry tedy odpovídají emisním čarám prvků obsažených v atmosféře Země a obalu Slunce a nazýváme je jako **Fraunhoferovy čáry**.

Sluneční spektrum je tedy **absorpční spektrum**. Díky tomuto spektru byl objeven prvek hélium - dříve na Slunci než na Zemi.

21.3 Vodíkové spektrum

21.3.1 Charakteristika

Emisní čárové spektrum vodíku je tvořeno spektrálními čarami, je seskupeno do pěti sérií.

21.3.2 Balmerův-Rydbergův vztah

Pro frekvence spektrálních čar atomu vodíku platí Balmerův-Rydbergův vztah:

$$f = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

kde $n > m$ a kde R je Rydbergova frekvence.

21.3.3 Rydbergova frekvence

Rydbergova frekvence je největší možná frekvence, jakou může atom vodíku vyžářit. Její hodnota je:

$$R = 3,289 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

21.3.4 Hrana série

Z Rydbergovy frekvence lze odvodit i **hrana série**. Jedná se o největší možnou frekvenci pro danou sérii m . Platí pro ni vztah:

$$f_m = \frac{R}{m^2}$$

tento vztah lze vlastně odvodit jako limitu:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

21.3.5 Série čar

Spektrální série byly nazvány podle svých objevitelů:

- pro $m = 1$ - Lymanova série - ultrafialové záření
- pro $m = 2$ - Balmerova série - viditelné světlo
- pro $m = 3$ - Paschenova série - infračervené záření
- pro $m = 4$ - Brackettova série - infračervené záření
- pro $m = 5$ - Pfundova série - infračervené záření

21.3.6 Balmerova série

Balmerova série je jediná, která se nachází ve viditelném spektru. Tato série začíná na 656 nm a hranou série je podle vzorce: 364 nm

21.4 Energetické hladiny vodíku

21.4.1 Vztah pro energetické hladiny

Pro energetické hladiny atomu vodíku platí: Energie dané hladiny se vypočítá podle vzorce:

$$E_n = -\frac{hR_f}{n^2}$$

kde R_f je **Rydbergova frekvence**.

Tento vztah lze odvodit z Balmerova vztahu pro frekvenci spektrálních čar a ze vztahu pro energii fotonu:

$$hf_{nm} = hR \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = E_n - E_m$$

kde h je Planckova konstanta

21.4.2 Základní stav atomu vodíku

Základní stav atomu vodíku pro $n = 1$ odpovídá vztahu

$$E_n = -hR_f = -13,6\text{eV}$$

Toto je vlastně záporná ionizační energie atomu vodíku.

Jakýkoli stav atomu, kdy je energie alespoň jednoho elektronu větší než základní stav, se nazývá **excitovaný stav**.

21.4.3 Excitovaný stav

Atom, který má alespoň jeden elektron v jiném než základním stavu se nazývá excitovaný atom a říkáme o něm, že je v excitovaném stavu.

Excitace atomu může proběhnout dvěma způsoby:

- Tepelnou excitací - tepelný pohyb atomů má za následek jejich srážky, při tom se mohou některé atomy excitovat.
- Excitací při absorpci - atom absorbuje foton o určité energii mezi hladinami a elektron povyskočí.

21.4.4 Ionizace

Pokud se číslo n blíží nekonečnu, tak vazba jádra na daný elektron už je natolik slabá, že se elektron odtrhne a odletí. Tento stav se nazývá ionizace atomu a vzniká jí iont. Celková energie potřebná k odtržení elektronu od jádra se nazývá **ionizační energií** atomu. Vztah:

$$E_n = hR_f = 13,6\text{eV}$$

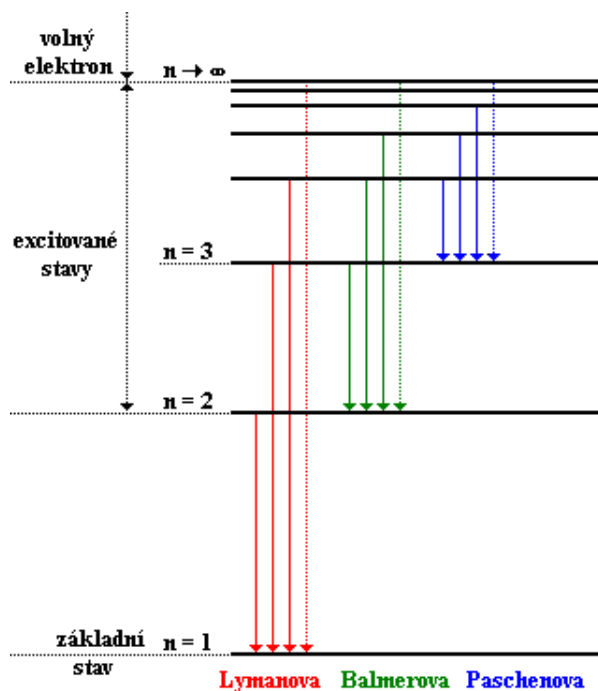
21.4.5 Ionty

Ionty se dělí na **anionty** a **kationty**

- Anionty vznikají připojením jednoho nebo více elektronů, jsou záporně nabité.
- Kationty vznikají ionizací atomu - odtržením jednoho nebo více elektronů. Kationty jsou kladné ionty.

21.4.6 Grafické znázornění energetických hladin

Grafické znázornění energetických hladin atomu vodíku i se sériemi je vhodné nakreslit u maturity.



21.5 Bohrova představa atomu

21.5.1 Charakteristika

V roce 1913 formuloval svou představu dánský fyzik Niels Bohr. Má 3 části.

21.5.2 Bohrova představa atomu

1. Atom je stabilní soustava složená z kladně nabitého jádra a záporně nabitých elektronů v elektronovém obalu kolem jádra.
2. Atom se může nacházet pouze ve stacionárních stavech s určitou hodnotou energie. V těchto stavech atom nevydává ani nepřijímá energii.
3. Při přechodu ze stacionárního stavu o energii E_n do stavu o nižší energii E_m může atom vyžářit foton o frekvenci:

$$E = hf = E_n - E_m$$

Tento děj může samozřejmě proběhnout i obráceně - atom přijme foton a elektron povyskočí.

21.6 Franckův-Hertzův pokus

21.6.1 Význam

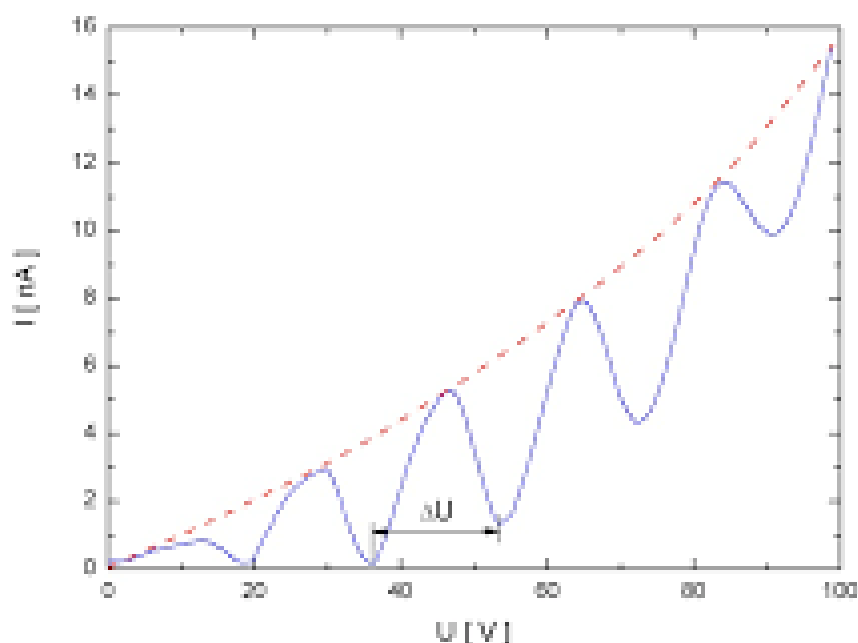
Franckův-Hertzův pokus experimentálně dokázal kvantování energie atomu.

21.6.2 Popis

Výbojová trubice je naplněna párami rtuti. Mezi žhavenou katodou a anodou je mřížka s kladným napětím, které urychluje elektrony vylétávající z katody.

Elektrony prolétávají tedy skrz mřížku, dopadají na anodu a vytvářejí anodový proud I_a .

Závislost anodového proudu na napětí:



Tato závislost ukazuje, že dochází k pravidelným poklesům proudu pro celočíselné násobky napětí:

$$U = n \cdot 4,9V$$

21.6.3 Vysvětlení

První rozdíl energetických hladin u atomu rtuti je $4,9V$. Elektrony při srážkách s atomy rtuti předají část své kinetické energie a excitují přitom atomy rtuti. K anodě se tedy už nedostanou a anodový proud poklesne.

Atomy rtuti poté tuto energii vyzáří jako fotony s vlnovou délkou $253nm$.

21.6.4 Náčrt experimentu

Je vhodné na maturitě také nakreslit tento experiment s výbojovou trubicí, voltmetrem a ampérmetrem.

21.7 Bohrův model atomu vodíku

21.7.1 Analogie

Bohrův model atomu je analogií k pohybu planet kolem Slunce - elektrony obíhají kladně nabitě jádro.

21.7.2 Charakteristika

Bohrův model atomu je postaven na těchto postulátech:

1. Elektrony se pohybují po kružnicových trajektoriích (hladinách), na nichž nevyzařují žádné elektromagnetické záření.
2. Při přechodu z jedné hladiny na druhou elektron vyzáří (pohltní) právě 1 foton.
3. Jsou dovoleny jen určité trajektorie - energie elektronu v atomu je kvantována.

21.7.3 Přednosti

Tento model velmi dobře popisuje energetické hladiny elektronů a přechody mezi nimi.

21.7.4 Nedostatky

Nedostatků má tento model hned několik - hlavně je to jenom model - jeho předpovědi totiž platí převážně jen pro vodík.

- Model je planetární, je tedy placatý, což neodpovídá základním faktům, že atom je v základním stavu kulově symetrický.
- Model je také nestabilní - elektron by spadl do jádra.
- Dále nebere v potaz vlnový charakter elektronu.
- Model také nepopisuje správně vazby mezi atomy a chemické zákonitosti.

Jeho nedostatky odstranil až **Kvantově mechanický model atomu**.

21.8 Kvantově mechanický model atomu

21.8.1 Motivace

Elektrony se mohou nacházet s určitou pravděpodobností v jednotlivých bodech kolem jádra. Rozložení pravděpodobností je prakticky dáno řešením Schrodingerovy rovnice. Tímto řešením je vlnová funkce.

21.8.2 Schrodingerova rovnice

Schrodingerova rovnice umožňuje vypočítat vlnovou funkci pro danou částici - například pro elektron.

21.8.3 Vlnová funkce

Vlnová funkce popisuje **de Broglieovu vlnu** daném bodě v závislosti na čase:

$$\psi(x, y, z, t)$$

Čtverec absolutní hodnoty vlnové funkce částice se nazývá **Hustota pravděpodobnosti** výskytu této částice. To znamená pravděpodobnost, že se částice nachází právě v tomto bodě.

21.8.4 Charakteristika

Kvantově-mechanický model atomu vyplynul z řešení Schrodingerovy rovnice pro elektron. Elektron je v něm popsán pomocí 4 kvantových čísel, jeho energetické stavy jsou kvantovány.

21.8.5 Orbital

Orbital je geometrický útvar, který vymezuje místo nejpravděpodobnějšího výskytu elektronu kolem jádra atomu. Tvar orbitalu určuje druhé kvantové číslo l .

21.9 Kvantová čísla

21.9.1 Charakteristika

Kvantová čísla udávají kvantový stacionární stav elektronu. Kvantová čísla jsou 4:

- Hlavní kvantové číslo
- Vedlejší kvantové číslo
- Magnetické kvantové číslo
- Spinové kvantové číslo

21.9.2 Kvantová čísla

Kvantové číslo	Značka	Hodnoty	Vyjadřuje
Hlavní kvantové číslo	n	1, 2, 3, ...	Energie a vzdálenost od jádra
Vedlejší kvantové číslo	l	0, 1, 2, ..., $n - 1$	Tvar orbitalu
Magnetické kvantové číslo	m	+1, -1, ..., + l , - l	Orientaci orbitalu
Spinové kvantové číslo	m_s	+1/2 - 1/2	Spin elektronu

21.10 Stavba elektronových obalů prvků

21.10.1 Základy

Protonové číslo Z vyjadřuje počet protonů v jádře atomu a také počet elektronů v elektricky neutrálním atomu. Podle protonového čísla jsou atomy seřazeny v Mendělejevově periodické tabulce.

21.10.2 Charakteristika

21.11 Principy v mikrosvětě

21.11.1 Pauliho vylučovací princip

Tento princip formuloval roku 1924 Wolfgang Pauli. V daném systému nemohou současně existovat dva elektrony ve stejném kvantovém stavu. To znamená, že nemohou mít všechna 4 kvantová čísla stejná.

Tento princip platí pro **Fermiony** - elektron, proton atd. a neplatí pro **Bosony** - polní částice, jsou to například foton, gluon atd.

21.11.2 Výstavba atomového obalu podle PVP

Při výstavbě složitějších atomů postupujeme od atomu vodíku a přidáváme pokaždé jeden elektron. Tento elektron má takový kvantový stav, aby jeho energie byla co nejnižší a zároveň aby nenarušoval Pauliho princip.

21.11.3 Princip nerozlišitelnosti

Částice v mikrosvětě od sebe nelze odlišit, všechny jsou stejné. Všechny elektrony například jsou úplně stejné a nelze je od sebe nijak rozlišit.

21.11.4 Princip minimální energie

21.12 Elektronová konfigurace

21.13 Principy laseru

21.13.1 Charakteristika

Princip laseru vysvětlují 3 děje:

- Spontánní emise
- Absorpce
- Stimulovaná emise

21.13.2 Spontánní emise

Spontánní emise je proces samovolného vyzáření fotonu excitovaným atomem. U maturity je vhodné uvést i náčrt elektronových hladin.

21.13.3 Absorpce

21.13.4 Stimulovaná emise

21.13.5 Spontánní emise

21.14 Vlastnosti laseru

22 Jaderná fyzika

22.1 Charakteristika

Jaderná fyzika se zabývá zkoumáním atomového jádra a dějů probíhajících v něm.

22.2 Atomové jádro

22.2.1 Popis

Atomové jádro se skládá z **Protonů** a **Neutronů**. Dohromady se tyto částice nazývají **nukleony**. Počet nukleonů v jádře udává **nukleonové číslo** A .

22.2.2 Protonové číslo

Počet protonů v jádře udává **protonové číslo** Z neboli atomové číslo. Proton je částice s kladným elementárním elektrickým nábojem.

Protonové číslo tedy určuje i kladný elektrický náboj atomu. Vztah:

$$Q = Z \cdot e$$

kde e je elementární náboj protonu nebo elektronu.

Protonové číslo je i pořadové číslo prvku v PSP.

22.2.3 Neutronové číslo

Neutronové číslo N neboli hmotnostní číslo vyjadřuje počet neutronů v jádře. Lze vypočítat z protonového a z nukleonového čísla. Neutron je elektricky neutrální částice.

22.2.4 Vztah mezi těmito čísly

Vztah:

$$A = Z + N$$

Prvek tedy zapisujeme obecně:



22.3 Základní pojmy

22.3.1 Chemický prvek

Chemický prvek je látka tvořená atomy se stejným protonovým číslem Z . Tyto atomy mohou mít různá nukleonová čísla. Každý atom chemického prvku má stejné chemické vlastnosti. Prvek zapisujeme ${}_ZX$.

22.3.2 Nuklid

Nuklid je tvořen atomy, jejichž jádra mají stejné protonové číslo Z i nukleonové číslo N . Nuklid zapisujeme ${}_ZX$.

22.3.3 Izotop

Izotopy jsou různé nuklidy téhož prvku. Mají tedy rozdílná hmotnostní čísla, nýbrž protonová čísla mají stejná. Různé nuklidy téhož prvku mají různé nuklidy a i různé hmotnosti.

22.4 Vazební energie jádra

22.4.1 Motivace k hmotnostnímu úbytku

Hmotnost atomového jádra je vždy menší než součet hmotností jednotlivých volných nukleonů, z nichž se jádro skládá. Rozdíl mezi těmito dvěma hmotnostmi se nazývá hmotnostní úbytek. Při vytváření jádra se totiž energie z nukleonů uvolňuje a tím se jejich hmotnost snižuje podle **Einsteinova vztahu**.

22.4.2 Einsteinův vztah mezi hmotností a energií

Tento vztah lze odvodit pomocí integrálního počtu z rovnic STR a zní:

$$E = mc^2$$

22.4.3 Hmotnostní úbytek

Hmotnostní úbytek je tedy rozdíl mezi součtem klidových hmotností nukleonů v jádře a jádra samotného. Hmotnostní úbytek se značí B a určíme ho vztahem:

$$B = Zm_p + Nm_n - m_j$$

kde m_j je energie jádra. Jednotkou hmotnostního úbytku je kilogram, jedná se o nějakou změnu hmotnosti přece.

22.4.4 Vazebná energie obecně

Vazebná energie soustavy je práce, kterou musíme vykonat, abychom soustavu rozložili na jednotlivé části.

Obecně pro vazebnou energii platí:

- pokud $E > 0$, tak se jedná o stabilní soustavu.
- pokud $E < 0$, tak se jedná o nestabilní soustavu.

22.4.5 Vazební energie jádra

Vazební energie jádra se značí E_j , je to energie, kterou musíme jádru dodat, aby se rozpadlo na jednotlivé nukleony.

Zároveň je to energie, která by se uvolnila, kdyby se jádro rozpadlo na jednotlivé nukleony.

Vazební energii jádra vypočítáme ze vztahu:

$$E_j = B \cdot c^2$$

kde B je hmotnostní úbytek.

Jednotkou je samozřejmě Joule.

22.4.6 Vazební energie na jeden nukleon

V praxi je výhodnější počítat s vazební energií na jeden nukleon, protože se podle ní dají porovnávat různě těžká jádra. Tato energie se značí ϵ_j a vypočítá se podle vztahu:

$$\epsilon_j = \frac{E_j}{A}$$

kde A je nukleonové číslo jádra, tedy počet všech nukleonů v jádře.

22.4.7 Graf závislosti vazební energie na jeden nukleon na počtu nukleonů

Z tohoto grafu lze vyčíst, která jádra se budou slučovat a která štěpit.

Lze z něj také vyčíst, které jádro je nejstabilnější - které jádro má největší vazební energii na nukleon. Čím je tato energie větší, tím víc práce musíme dodat, aby se toto jádro roztrhlo. Jádro s největší energií je tedy nejstabilnější a je to **železo** s protonovým číslem 56.

Prvky nalevo od železa ($A < 56$) se tedy budou slučovat. Při tomto slučování vzniká jádro těžší a uvolňuje se jaderná energie. Proto třeba Slunce svítí, a bude svítit, dokud všechny prvky nesloučí na železo.

Prvky napravo od železa ($A > 56$) se mohou štěpit na lehčí prvky se stabilnějšími jádry - opět se uvolňuje jaderná energie.

22.5 Jaderné síly

22.5.1 Charakteristika

Jaderné síly jsou silné přitažlivé síly působící v jádře mezi protony a nukleony, drží pohromadě atomové jádro.

22.5.2 Výčet vlastností

- Působí mezi všemi nukleony - mezi 2 neutrony, mezi protonem a neutronem, mezi 2 protony.
- Jsou mnohem větší než odpuzivé elektrostatické síly mezi protony (náboj se stejným znaménkem se odpuzuje)
- Jsou silami velmi krátkého dosahu srovnatelného s velikostí jádra.
- Projevují vlastnost nasycení - působí jen na určitý malý počet okolních nukleonů.

22.6 Radioaktivita

22.6.1 Charakteristika

Radioaktivita je přirozená spontánní vlastnost jader nestabilních prvků rozpadat se na jiná jádra a emitovat přitom radioaktivní záření. Tento proces je **naprosto náhodný** a nelze urychlit ani zpomalit žádným způsobem.

Radioaktivitu uranu objevil v roce 1896 Becquerel.

22.6.2 Radionuklidy

Nestabilní nuklidy které se s postupem času samovolně rozpadají se nazývají radionuklidy.

Rozlišujeme:

- Přírodní radionuklidy, které se nacházejí v přírodě a známe jich asi 50
- Umělé radionuklidy, ty jsou připraveny člověkem a známe jich asi 1500

Podle toho rozlišujeme přírodní a umělou radioaktivitu.

22.6.3 Typy radioaktivního rozpadu

Podle typu radioaktivního záření emitovaného rozpadem nuklidu rozlišujeme tři typy rozpadu:

- Rozpad α
- Rozpad β
- Rozpad γ

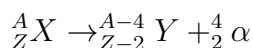
22.6.4 Druhy radioaktivního záření

Jsou čtyři:

- Záření α
- Záření β
- Záření γ
- Neutronové záření

22.6.5 Záření α

Záření α je tok jader helia. Jsou to kladně nabitě částice, proto se vychylují v elektrickém i magnetickém poli. Toto záření je lehce pohlceno tlustým papírem, nebo několika centimetry vzduchu. Zdrojem je například rozpad uranu nebo radia. Rovnice:



22.6.6 Záření β

Rozlišujeme dva druhy β záření:

- Tok elektronů, značí se β^- .
- Tok pozitronů, značí se β^+

V rámci středoškolské fyziky řešíme pouze záření β^- .

Částice β se vychyluje v magnetickém i elektrickém poli na opačnou stranu než α částice. Pohltí ji tenká vrstva kovu.

Při beta přeměně se mění neutron na proton a beta částici. Protonové číslo výsledného prvku tedy roste. K maturitě je třeba vědět i rovnici.

22.6.7 Záření γ

Záření γ je elektromagnetické záření o velmi malé vlnové délce, tedy s velkou energií. Je ze všech radioaktivních záření nejpronikavější. Gama záření je pohlcováno jádru těžkých prvků. V praxi se ke stínění používá olovo.

K vyzáření vysoce energetického fotonu gamma dojde, když excitované jádro radionuklidu přejde do nižšího energetického stavu.

K maturitě je třeba vědět i rovnici.

22.6.8 Neutronové záření

Jedná se o tok neutronů. Toto záření nenese elektrický náboj, a proto se nevychyluje v elektrickém ani magnetickém poli. Je také velmi pronikavé. Lze je zpomalit či odstínit lehkými jádru. Stínit je tedy lze například vodou nebo betonem.

Neutrony vyzařuje například uran ^{235}U . K maturitě je třeba vědět i rovnici.

22.7 Zákon radioaktivní přeměny

22.7.1 Aktivita zářiče

Aktivita zářiče A je skalární fyzikální veličina, jednotkou je **Becquerel** Bq . Udává počet radioaktivních rozpadů ve vzorku za jednu sekundu. Vztah:

$$A(t) = A(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

22.7.2 Zákon radioaktivní přeměny

Aktivita A zářiče je přímo úměrná počtu dosud nepřeměněných jader N nuklidu. Toto můžeme vyjádřit vztahem:

$$A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

kde λ je konstantou úměrnosti a nazývá se **přeměnová konstanta**.

Zákon můžeme vyjádřit také pomocí počtu dosud nepřeměněných jader N :

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

22.7.3 Přeměnová konstanta

Přeměnová konstanta se značí λ , jednotkou je reciproká sekunda s^{-1} . Přeměnovou konstantu určíme jako:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

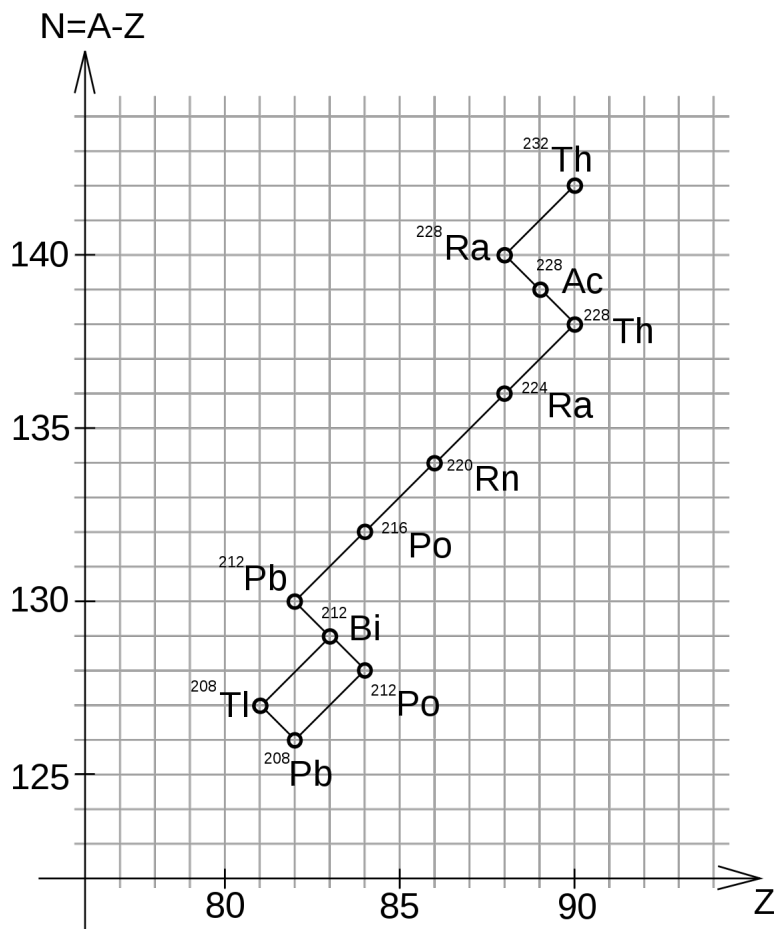
kde T je poločas přeměny.

22.7.4 Poločas přeměny

Poločas přeměny je doba, za kterou se přemění polovina jader ve vzorku. Tato doba lze pro určitý nuklid najít v tabulkách.

22.8 Přeměnové řady

Přeměnové řady pro ^{235}U , pro ^{238}U i pro ^{232}Th končí u olova ^{206}Pb .



22.8.1 Transurany

Transurany jsou uměle připravené radionuklidy s protonovým číslem větším než 92.

22.9 Jaderné reakce

22.9.1 Charakteristika

Jedná se o přeměny jader v důsledku vzájemné interakce mezi jádry.

22.9.2 Druhy reakcí

Jaderné reakce dělíme na dva druhy:

- **Jaderné štěpení**
- **Jaderná fúze** neboli jaderné slučování neboli jaderná syntéza

22.10 Jaderná syntéza

22.10.1 Charakteristika

Jaderná fúze je reakce, kdy dochází ke slučování jader lehčích prvků na jádra těžší. Podle *grafu závislosti vazebné energie na jeden nukleon na nukleonovém čísle* se slučují pouze jádra prvků s nukleonovým číslem menším než 56. Například tedy slučováním vodíku, helia atd.

22.10.2 Zákony zachování

Při jaderném slučování platí **Zákon zachování hmotnosti a energie**, tyto dvě složky se mohou přeměňovat podle vztahu $E = mc^2$.

Platí také **Zákon zachování náboje** a **Zákon zachování počtu nukleonů**.

Platí také **Zákon zachování hybnosti**.

22.10.3 Průběh reakce

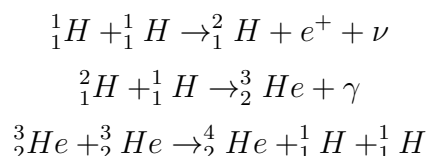
Aby reakce proběhla je potřeba dodat lehkým prvkům aktivační energii. Toho docílíme zvýšením teploty na řádově $10^7 K$. Reakci probíhající za této teploty nazýváme **Termojaderná fúze**. Tyto reakce probíhají ve hvězdách. Při zažehnutí reakce se uvolňuje energie mnohonásobně vyšší než je aktivační energie.

22.10.4 Termojaderné reakce ve Slunci

Slunce obsahuje spoustu vodíku, který postupně přeměňuje jadernou syntézou na helium.

Slunce ve skutečnosti nemá dostatečnou teplotu a tlak, aby zde termojaderné reakce probíhaly. Probíhají pomocí takzvaného **Kvantového tunelování**, kdy jádro lehkého prvku může najednou přeskočit energetickou bariéru a sloučit se s jiným jádrem.

Probíhají tyto reakce:



22.10.5 Tokamak

Tokamak je prototyp reaktoru pro jadernou fúzi uskutečnitelnou na Zemi. Největší tokamak se v současné době staví ve Francii.

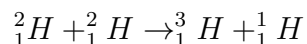
Současné problémy tokamaku:

- Dodáváme víc energie, než získáváme - aktivační energie je větší než získaná energie.
- Problém udržení horké plazmy ve vakuu. Nesmí se dotknout stěn reaktoru.

Výhodou by byla výroba skoro čisté energie.

22.10.6 Reakce v tokamaku

Možným zdrojem energie v tokamaku by mohla být **deuteron - deuteronová termojaderná reakce**. Deuterium je dostupné v mořské vodě ve formě **Těžké vody**. Reakce:



22.10.7 Vodíková bomba

Jedná se o bombu, která při výbuchu využívá ve větší míře energie uvolněné termojaderné fúze.

22.10.8 Princip vodíkové bomby

Vedle vodíku samotného (v praxi se používá spíše lithium) se v bombě nachází ještě menší uranová nebo plutoniová bomba. Ta nastartuje fúzní reakci zvýšením teploty na pár milion stupňů.

22.10.9 Účinky vodíkové bomby

Mezi účinky vodíkové bomby patří:

- Radioaktivní zamoření
- Ionizující záření
- Tepelné záření
- Silný elektromagnetický impuls
- Rázová vlna výbuchu

22.10.10 Neutronová bomba

Je to speciálně upravená vodíková bomba, má zeslaben destruktivní účinek a posíleno vyzařování neutronů. Neutrony poškozují lidskou tkáň, zasažené osoby umírají na nemoc z ozáření.

22.10.11 Car-bomba

Car-bomba byla největší jadernou zbraní v historii, tato vodíková bomba explodovala severně od Ruska se silou 57 Megatun TNT.

22.11 Jaderné štěpení

22.11.1 Charakteristika

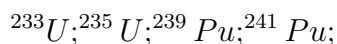
Jaderné štěpení probíhá pouze pro jádra těžších prvků. Tyto prvky se v *grafu závislosti vazební energie na jeden nukleon na nukleonovém čísle* nacházejí napravo od železa ${}^{56}_{26}Fe$.

22.11.2 Přirozená radioaktivita

Jaderné štěpení probíhá náhodně a samovolně ve spoustě těžkých jader, jako je například uran nebo plutonium. Tomuto procesu říkáme přirozená radioaktivita.

22.11.3 Jaderné štěpení v praxi

V praxi se používají převážně pouze dva izotopy uranu a dva izotopy plutonia. Jedná se o izotopy:



Jaderné štěpení využíváme pro jaderné elektrárny a jaderné zbraně.

22.12 Řetězová štěpná reakce

22.12.1 Charakteristika

Řetězové reakce dělíme na dva druhy:

- Řízené řetězové reakce - v jaderné elektrárně
- Neřízené řetězové reakce - v atomové bombě

Řetězová reakce nemůže v přírodním uranu proběhnout, jelikož obsahuje většinu izotopu ^{238}U , který účinně pohlcuje neutrony. Proto se v přírodním uranu zvyšuje obsah izotopu ^{235}U a takto upravený uran se pak používá jako palivo v jaderných elektrárnách.

22.12.2 Průběh reakce

Zpomalený neutron narazí na jádro ^{235}U . Toto jádro začne nestabilně vibrovat a vzápětí se dělí na dva fragmenty a vypustí 3 neutrony. Tyto neutrony musí být zpomaleny a k tomu slouží moderátor.

Příklad reakce:



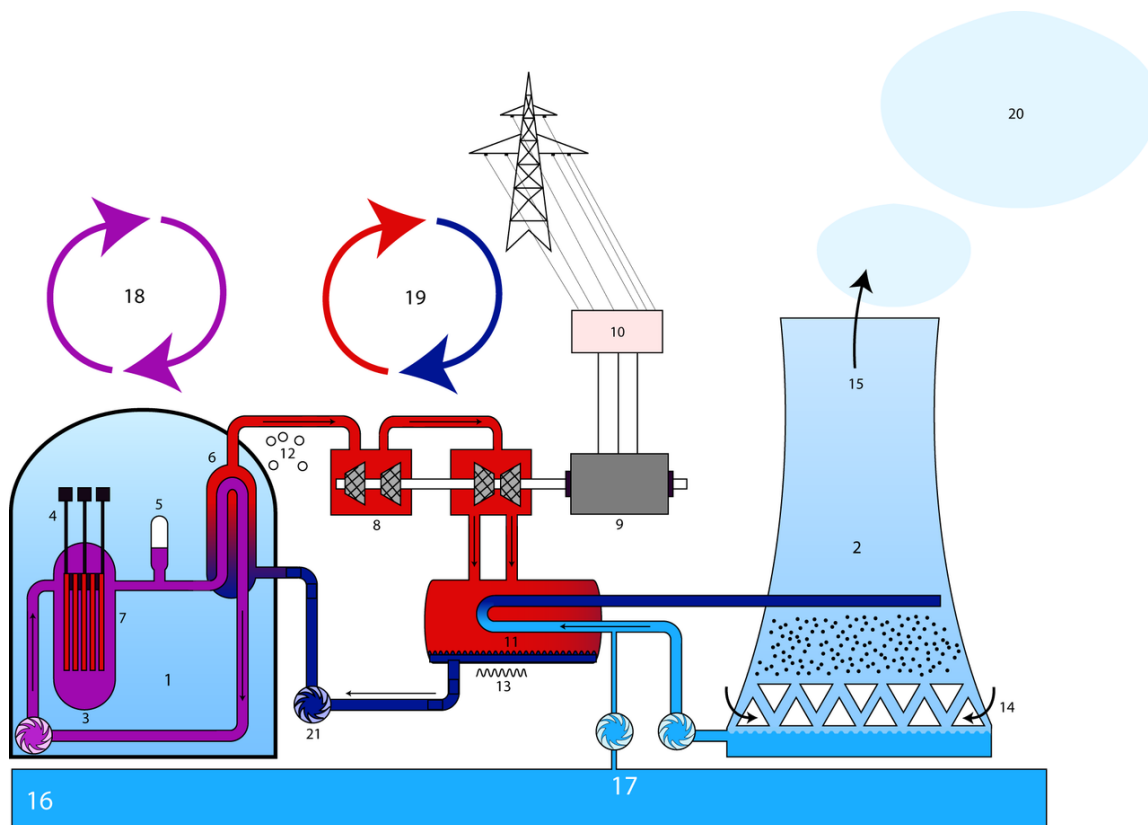
22.12.3 Moderátor

Je to látka, která zpomaluje neutrony - musí se skládat z prvků s lehkými jádry. V jaderném reaktoru je to obvykle voda nebo parafín. Zde plní i funkci chladiwa.

22.12.4 Kritické množství

Kritické množství je množství štěpného materiálu, při kterém začne řetězová reakce probíhat nekontrolovatelně. Tuto neřízenou řetězovou jadernou reakci využíváme v jaderných bombách.

22.13 Jaderná elektrárna



22.13.1 Charakteristika

Jaderná elektrárna je vlastně obdobou tepelné elektrárny, akorát zde není zdrojem tepla chemická energie uložená v uhlí, ale radioaktivní rozpad paliva.

V České republice máme 2 elektrárny - Dukovany a Temelín. Dohromady tvoří asi 36 % české elektrické energie.

22.13.2 Složení elektrárny

Elektrárnu tvoří tři okruhy:

- Primární okruh - zde se nachází reaktor, je zde obrovský tlak, aby se voda nevařila. Primární okruh je neprodyšně uzavřen v kontejnmentu.
- Sekundární okruh s parogenerátorem a turbínou. Turbína je napojena na alternátor který generuje elektrickou energii.
- Terciální(chladicí) okruh - zde se nachází kondenzátor a chladicí věže.

22.13.3 Reaktor

Reaktor je součástí primárního okruhu jaderné elektrárny, je to velký ocelový stíněný válec, kde probíhá samotná štěpná reakce. Nachází se v něm tedy **aktivní zóna**. V reaktoru se nachází:

- Palivové tyče

- Regulační tyče
- Moderátor
- Chladivo

V reaktoru je velký tlak, aby voda v něm nevřela. Reaktor je celý uzavřený v kontejnmentu, který brání potencionálnímu úniku radiace do okolí. Černobylské reaktory typu RBMK žádný kontejnment neměly.

Palivové tyče obsahují lehce obohacený uran.

Regulační tyče jsou z kadmia nebo boru, pohlcují neutrony

22.13.4 Moderátor

Jako moderátor se v jaderné elektrárně běžně používá voda nebo těžká voda. Moderátor slouží jako zpomalovač neutronů a zároveň jako chladící médium.

22.13.5 Klady a zápory elektrárny

Klady:

- Malá zastavěná plocha na výkon
- Žádné emise
- Velký zdroj energie

Zápory:

- Vysoké pořizovací náklady
- Vysoké provozní náklady
- Radioaktivní odpad
- Jaderná bezpečnost
- Ovlivňuje ekosystém
- Vyčerpatelný zdroj paliva

22.13.6 Množivý reaktor

Množivý reaktor vyrábí kromě energie také nový štěpný materiál - z Uranu $^{238}_{92}\text{U}$ se vyrábí plutonium $^{239}_{94}\text{Pu}$.

22.14 Atomová bomba

22.14.1 Charakteristika

Atomová bomba funguje na principu spojení dvou podkritických množství štěpného materiálu v nadkritické množství. V tomto materiálu pak proběhne neřízená řetězová reakce, při které se uvolní obrovské množství energie.

Síla atomové bomby se udává v kilotunách TNT. První atomová bomba explodovala v Americe na *test site Trinity*. Atomová bomba, která spadla na Hirošimu, měla sílu asi 16 kilotun TNT.

22.14.2 Složení plutoniové bomby

Skládá se ze zdroje neutronů, plutoniové nálože a konvenční trhaviny. Má kulovitý tvar. Trhavina stlačí plutonium, vznikne nadkritické množství a bomba vybuchne.

22.14.3 Složení uranové bomby

Uranová bomba se skládá z uranového projektilu a uranového terčíku. Jedná se o vysoce obohacený uran. Konvenční trhavina vymrští projektil do terčíku, uran s spojí v nadkritické množství a exploduje.

22.14.4 Účinky

Mezi účinky patří:

- Silný elektromagnetický impuls
- Ionizující záření
- Tlaková vlna
- Tepelné záření
- Dlouhodobé radioaktivní zamoření

22.15 Využití radionuklidů

22.15.1 Principy

- Při průchodu látkou se záření zeslabuje - rentgen
- Uvolňuje se teplo - termočlánky
- Mění se vlastnosti látek - změna barvy

22.15.2 Využití v medicíně

- Radiofarmaka
- Rentgen
- Tomografie - kontrastní látka
- Leksellův gama nůž - vyřezávání nádorů
- Radioterapie - Jáchymov - prohřívající voda

22.15.3 Využití v průmyslu

- Defektoskopie
- Měření tloušťky
- Měření hladiny nebezpečných kapalin
- Termočlánky - např. vozítko Curiosity
- Polymerace
- Vulkanizace
- Přítomnost radonu

22.15.4 Využití v zemědělství

- Odstraňování dřevokazného hmyzu
- Ozařování potravin
- Radioimunoanalýza - sledování hormonů u dojnic

22.15.5 Využití v archeologii

- Zjišťování stáří radiouhlíkovou metodou

22.16 Ochrana před radioaktivním zářením

22.16.1 Dávka

Jednotkou přijaté dávky je Gray Gy . Je to skalární fyzikální veličina, která udává energii dodanou jednotkovému množství hmoty průchodem příslušného záření. Gray má tedy fyzikální rozměr:

$$J \cdot kg^{-1}$$

22.16.2 Dávkový ekvivalent

Dávkový ekvivalent je biofyzikální veličina, která popisuje biologický účinek ionizujícího záření. Závisí na absorbované dávce a typu záření. Jednotkou je **Sievert**

22.16.3 Dozimetrie

Dozimetrie je fyzikální disciplína zabývající se vlastnostmi ionizujícího záření a jeho účinky na živou tkáň.

22.16.4 Způsoby ochrany

Způsoby ochrany před ionizujícím zářením se dělí na 3 druhy:

- Vzdálenost od zdroje
- Stínění
- Omezení doby ozařování

22.17 Detektory částic

22.17.1 Charakteristika

Detektor radioaktivního záření je přístroj sloužící k registraci částic záření nebo k měření jeho intenzity.

22.17.2 Geiger-Müllerův počítač

Měřicí část počítače je tvořena trubicí a vláknem obklopeným plynem. Vodiče jsou pod vysokým napětím.

Částice prolétávající plynem narazí do jeho atomů a vytváří z nich ionty a elektrony. Elektrony dopadající na anodu jsou poté registrovány jako impulzy. Protože však vzniklé ionty získávají v elektrickém poli energii dostatečnou k ionizaci dalších atomů nebo molekul, je potřeba dalšími prostředky tuto reakci zhaset.

Přesnost Geiger-Müllerova počítače je poměrně malá.

22.17.3 Wilsonova mlžná komora

Wilsonova mlžná komora je fyzikální přístroj umožňující pozorovat dráhy elektricky nabitých částic. Komora je naplněna podchlazenou (přesycenou) párou, když jí proletí částice, tak se chová jako kondenzační jádro. Zanechá tedy za sebou stopu, kterou je možno fotografovat.

Wilsonova mlžná komora byla postupně vytlačena mlžnou komorou.

22.17.4 Bublinková komora

Bublinková komora pracuje na obdobném principu jako komora mlžná, jen je zde místo přesycené páry použita přehřátá kapalina. Při průchodu částice se zde tedy tvoří bublinky, které pak lze fotografovat.

22.18 Urychlovače

22.18.1 Charakteristika

Částice se v praxi urychlují elektrickým nebo magnetickým polem. Částice urychlujeme, abychom mohli pozorovat jejich chování po dopadu na terčik nebo jejich chování při srážce s jinou částicí.

Při urychlování elektrickým polem získá částice nabitá nábojem Q v poli s rozdílem potenciálů U kinetickou energii:

$$E = Q \cdot U$$

22.18.2 Lineární urychlovač

Trajektorií částice je přímka.

22.18.3 Kruhový urychlovač

Kruhový urychlovač, neboli cyklotron, - trajektorií je kružnice, částice se může nechat mnohokrát projít rozdílem potenciálů, získá tedy větší energii.

Jedním ze známých urychlovačů je LHC (Large Hadron Collider) v CERN. Byl zde objeven Higgsův boson.

22.19 Systém částic

22.19.1 Popis systému částic

Elementární částice se obecně dělí na fermiony a bosony. Také se dělí na **fundamentální částice** a na částice z těchto částic složené - takzvané **hadrony**

22.19.2 Bosony

Bosony jsou částice, pro které **neplatí** Pauliho vylučovací princip. Bosony mají celočíselný spin.

22.19.3 Fermiony

Fermiony jsou částice, pro které **platí** Pauliho vylučovací princip. Fermiony mají poločíslný spin.

22.19.4 Fundamentální částice

Tyto částice nemají vnitřní strukturu. Dělí se na:

- **Zprostředkující částice** - gluon, bosony W a Z, foton, hypotetický graviton, mají spin 1
- **Základní stavební prvky hmoty** - každá má svou antičástici - dělí se na:
 - **Leptony** - elektron, elektronové neutrino, mion, mionové neutrino, tauon, taunové neutrino, antičásticí elektronu je pozitron.
 - **Kvarky** - je jich 6: Nahoru, dolů, půvabný, podivný, horní, dolní.

22.19.5 Hadrony

Hadrony jsou částice složené z kvarků a antikvarků. Dělí se na:

- **Baryony** - například proton, neutron, antiproton
- **Mezony** - například pion.

23 Speciální teorie relativity, astrofyzika

23.1 Klasická Newtonova mechanika

- 23.1.1 Newtonovy zákony
- 23.1.2 Newtonův zákon setrvačnosti
- 23.1.3 Newtonův zákon síly
- 23.1.4 Newtonův zákon akce a reakce
- 23.1.5 Vztažná soustava
- 23.1.6 Inerciální vztažná soustava
- 23.1.7 Současné a souměstné události
- 23.1.8 Absolutnost času
- 23.1.9 Absolutnost délky předmětů
- 23.1.10 Absolutnost hmotnosti těles
- 23.1.11 Klasické skládání rychlostí
- 23.1.12 Galileiho mechanický princip relativity

23.2 Vznik Speciální teorie relativity

- 23.2.1 Problém určení rychlosti světla
- 23.2.2 Problém éteru
- 23.2.3 Problém hledání absolutní vztažné soustavy

23.3 Základní principy STR

- 23.3.1 Inerciální vztažná soustava
- 23.3.2 Speciální teorie relativity

Speciální teorie relativity platí tedy pouze v inerciálních vztažných soustavách a zakládá se na dvou postulátech:

- Princip relativity
- Princip stálé rychlosti světla

23.3.3 Princip relativity

Pro maturitě je vhodné znát přesně.

23.3.4 Princip stálé rychlosti světla

Pro maturitu je vhodné znát přesně.

23.4 Důsledky postulátů STR

23.4.1 Výčet důsledků

STR má 5 hlavních důsledků:

- Relativnost současnosti
- Dilatace času
- Kontrakce délek
- Skládání rychlostí v STR
- Relativistická hmotnost
- Relativistická hybnost
- Vztah mezi hmotností a energií

23.5 Relativnost současnosti

23.6 Dilatace času

23.6.1 Charakteristika

23.6.2 Paradox dvojčat

23.7 Kontrakce délek

23.8 Skládání rychlostí v STR

23.9 Relativistická hmotnost

23.10 Relativistická hybnost

23.11 Vztah mezi hmotností a energií

23.12 Astrofyzika

23.12.1 Charakteristika

23.12.2 Sluneční soustava

23.12.3 Slunce

23.12.4 Planety

23.12.5 Planetky a trpasličí planety

23.12.6 Komety, meteoroidy

23.12.7 HR diagram

23.12.8 Galaxie

24 Zákony zachování

24.1 Izolovaná soustava

24.1.1 Popis

Izolovanou soustavu tvoří tělesa, která na sebe působí silami a přitom na ně nepůsobí žádná jiná tělesa. Platí zde zákon zachování hybnosti (jednotkou je $kg \cdot m \cdot s^{-1}$), jakožto i jiné zákony zachování.

24.2 Zákon zachování hybnosti

24.2.1 Hybnost

Hybnost je vektorová fyzikální veličina, jednotkou je $kg \cdot m \cdot s^{-1}$.

24.2.2 Motivace

Pokud uvažujeme pružný ráz těles, neboli pružnou srážku (všechna energie nárazu se přemění v energii kinetickou), tak v izolované soustavě těles platí zákon zachování hybnosti.

24.2.3 Charakteristika

Před srážkou mají 2 tělesa hybnosti P_1 a P_2 , po srážce mají nové hybnosti P_3 a P_4 . Zákon zachování hybnosti pak říká, že se celková hybnost soustavy těles vzájemným silovým působením nemění. To znamená, že:

$$P_1 + P_2 = P_3 + P_4$$

případně také (pokud se tělesa spojí):

$$P_1 + P_2 = P$$

pokud toto rozepíšeme:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v$$

24.3 Zákon zachování hmotnosti

Celková hmotnost izolované soustavy těles je konstantní.

24.4 Zákon zachování mechanické energie

24.4.1 Mechanická energie

Mechanická energie je tvořena součtem kinetické a potenciální energie tělesa.

$$E = E_k + E_p$$

24.4.2 Znění

Při všech mechanických dějích se může měnit kinetická energie v potenciální a naopak, přitom však mechanická energie soustavy zůstává konstantní.

24.4.3 Příklad

Padající pomeranč. Pomeranč má ve výšce h potenciální energii $E_p = mgh$ a kinetickou energii má nulovou. Při pádu se potenciální energie zmenšuje a kinetická energie roste. Před dopadem je kinetická energie pomeranče maximální a potenciální energie je nulová. Mechanická energie pomeranče je konstantní.

Podobně lze vysvětlit i pohyb mechanického oscilátoru.

24.5 Zákon zachování energie

24.5.1 Znění

Celková energie izolované soustavy je konstantní. Pouze se mění jeden druh energie v jiný.

24.5.2 Příklad

Přeměna energie ve vodní elektrárně: Voda má potenciální energii, ta se mění v kinetickou energii vody a ta roztáčí turbínu. Kinetická energie turbíny se dále mění v generátoru na energii elektrickou. Tu poté ve spotřebičích měníme třeba na světelnou.

24.6 Zákon zachování hmotnosti v proudící kapalině

24.6.1 Ideální kapalina

Ideální kapalina je kapalina, která nemá vnitřní tření, je dokonale tekutá a není stlačitelná.

Částice kapaliny se pohybují po myšlené trajektorii, tuto trajektorii nazýváme **proudnicí**. Proudnicí v ideální kapalině se neprotínají.

24.6.2 Objemový průtok

Definujeme objemový průtok, značí se Q_V a je to objem, který proteče potrubím za určitý čas.

$$Q_V = \frac{V}{t}$$

pokud rozepíšeme:

$$Q_V = \frac{Ss}{t}$$

kde s je délka potrubí. Tento vzorec můžeme upravit na:

$$Q_V = Sv$$

24.6.3 Rovnice kontinuity

To, co do potrubí vteče na širším konci, musí z potrubí také vytéct na užším konci. Objemové průtoky na obou koncích se musí rovnat.

$$S_1v_1 = S_2v_2$$

Kde je užší část, tak tam proudí tekutina rychleji.

24.7 Zákon zachování energie v proudící kapalině

24.7.1 Motivace k potenciální tlakové energii

V užším místě je podle rovnice kontinuity větší rychlost kapaliny, a tedy i kinetická energie je v tomto místě větší. Energie kapaliny se tedy najednou zvětšuje!? Podle zákona zachování energie tedy musí existovat nějaká energie, která se na tuto kinetickou energii přemění. Tato energie se nazývá **potenciální tlaková energie**.

24.7.2 Výpočet potenciální tlakové energie

Kinetická energie jednotkového objemu kapaliny:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_k = \frac{1}{2}\rho Vv^2$$

Pro jednotkový objem kapaliny tedy ($V = 1$)

$$E_k = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Uvažujme příklad, kdy kapalina tlačí svou tlakovou silou na píst. Tlaková síla v kapalině:

$$F = pS$$

Práce vykonaná kapalinou: (píst se posune o Δx)

$$W = F\Delta x$$

$$W = pS\Delta x$$

$$W = p\Delta V$$

Pokud budeme uvažovat opět jednotkový objem kapaliny ($\Delta V = 1$):

$$E_p = p$$

Což je obecný vztah pro potenciální tlakovou energii.

Celková energie jednotkového objemu kapaliny je tedy tvořena energií kinetickou a energií potenciální. Součet těchto energií musí být konstantní.

24.7.3 Bernolliho rovnice

Bernolliho rovnice je důsledkem toho nahoře:

$$\frac{1}{2}\rho Vv^2 + pV = \textit{konstanta}$$

Pokud to vztáhneme na jednotkový objem:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = \textit{konstanta}$$

Tato rovnice se nazývá bernouliho rovnice a říká, že součet kinetické energie a tlakové potenciální energie je konstantní.

24.7.4 Důsledky bernolliho rovnice

Pokud kapalina proudí z širšího potrubí do užšího, tak tlak v užší části bude menší.

24.8 Mechanické oscilátory

24.8.1 Charakteristika

Mechanický oscilátor je například těleso na pružině, kinetická energie se zde harmonicky mění v potenciální a naopak. V krajních bodech je největší potenciální energie a nulová kinetická energie.

U kyvadla je to potenciální energie polohy a u pružiny je to potenciální energie pružnosti.

24.8.2 Pružinový oscilátor

Pokud zavěsíme těleso na pružinu v rovnovážné poloze ve výšce h , získá oscilátor klidovou potenciální energii. Ta se skládá z potenciální energie tíhové a z potenciální energie pružnosti pružiny. Výsledná energie oscilátoru se skládá z energie potenciální a z energie kinetické.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$
$$E_p = \frac{1}{2}ky_m^2$$

kde k je tuhost pružiny. Součet těchto dvou energií je samozřejmě konstantní.

24.8.3 LC obvod

Parametry obvodu jsou kapacita kondenzátoru a indukčnost cívky. Tento obvod je lépe popsán v 17. otázce *Elektromagnetické vlnění a kmitání*

Na začátku má kondenzátor energii elektrického pole mezi deskami danou vztahem:

$$E_e = \frac{1}{2}CU^2$$

Tato energie se při vybíjení kondenzátoru zmenšuje. Proud indukuje v cívkce magnetické pole. Energie magnetického pole lze vyjádřit jako:

$$E_m = \frac{1}{2}LI^2$$

Kondenzátor se vybije za $1/4$ periody kmitání. Celková energie je v ideálním případě konstantní.

24.9 Zákony zachování u jaderných reakcí

24.9.1 Druhy jaderných reakcí

Máme 2 druhy jaderných reakcí:

- štěpení
- slučování

24.9.2 Popis

Platí zde zákony zachování elektrického náboje, hybnosti, energie, a zákon zachování počtu nukleonů.

24.10 Zákony zachování v relativistické fyzice

24.10.1 Zákon zachování pro relativistickou hmotnost

Zákon zachování pro relativistickou hmotnost říká, že celková relativistická hmotnost soustavy těles je konstantní.

24.10.2 Zákon zachování energie

Zákon zachování energie v relativistické fyzice říká že celková energie v izolované soustavě je konstantní.

24.10.3 Zákon zachování hybnosti pro relativistickou hybnost

Zákon zachování hybnosti pro relativistickou hybnost říká že celková relativistická hybnost izolované soustavy těles je konstantní.

25 Práce a energie

25.1 Mechanická práce

25.1.1 Charakteristika

Mechanická práce je způsobená konáním síly po určité dráze.

$$W = Fs$$

Práce tedy není konána tehdy, když je síla působící na těleso nulová. Pokud je síla kolmá k trajektorii tělesa, tak se také práce nekoná. Obecně můžeme mechanickou práci vyjádřit tvarem: $W = Fs \cos \alpha$ kde α je úhel, který síla svírá s trajektorií tělesa.

25.1.2 Záporná práce

Pokud je úhel α , který síla svírá s trajektorií tělesa, mezi 90 a 180 stupni, tak je $\cos \alpha$ menší než nula a práci vychází záporná. Říkáme tedy, že těleso práci spotřebuje.

25.1.3 Pracovní diagram

Práci můžeme zaznačit do pracovního diagramu, což je závislost síly na dráze. Plocha pod grafem je rovna práci.

25.2 Kinetická energie

25.2.1 Charakteristika

Neboli pohybová energie. Kinetickou energii mají všechna hmotná tělesa, která se pohybují.

25.2.2 Výpočet

Kinetickou energii pohybujícího se bodu vypočítáme podle:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Změna kinetické energie je rovna práci.

$$\Delta E_k = W$$

25.2.3 Závislost na vztažné soustavě

Velikost kinetické energie tělesa závisí mimo hmotnost a rychlost také na volbě vztažné soustavy. Je to dáno tím, že rychlost je relativní. Pokud je těleso vůči nějaké soustavě v klidu, tak vůči této soustavě nemá kinetickou energii.

25.2.4 Kinetická energie soustavy

Kinetická energie soustavy se vypočítá jako součet kinetických energií všech bodů této soustavy.

25.3 Tíhová potenciální energie

25.3.1 Charakteristika

Potenciálním energiím obecně říkáme energie polohové. Těchto energií je víc druhů: například pružnosti, magnetů atd. Tíhovou potenciální energii mají tělesa v tíhovém poli Země.

25.3.2 Nulová hladina

Potenciální energie se vždy vztahuje k nějakému referenčnímu bodu (nulové hladině), kde je tato energie nulová. Obvykle tato nulový hladina bývá stanovena jako povrch Země.

25.3.3 Výpočet

Ve výšce h je tíhová potenciální energie tělesa dána vzorcem:

$$E_p = mgh$$

25.4 Mechanická energie

25.4.1 Charakteristika

Mechanická energie tělesa je dána vztahem :

$$E_m = E_k + E_p$$

tedy součtem kinetické a potenciální energie tělesa.

25.4.2 Zákon zachování mechanické energie

Celková mechanická energie tělesa v izolované soustavě je podle tohoto zákona konstantní. Pouze se mění kinetická energie v potenciální a naopak. Ideálním příkladem je například kyvadlo.

Zobecněním tohoto zákona je zákon zachování energie.

25.4.3 Rozdíl mezi energií a prací

Energie charakterizuje stav soustavy - je to stavová veličina. Kdežto práce charakterizuje děj. Jednotkou obou těchto skalárních fyzikálních veličin je Joule.

25.5 Vnitřní energie tělesa

25.5.1 Charakteristika

Značí se písmenem U . Tato energie představuje součet kinetické energie všech částic tělesa a vzájemné potenciální energie všech těchto částic. Toto chápeme jako vazby mezi částicemi.

25.5.2 Změna vnitřní energie tělesa

Vnitřní energii tělesa můžeme měnit dvěma způsoby:

- Konáním práce
- Tepelnou výměnou

Konáním práce se rozumí například stlačování plynu ve válci nebo ohýbání drátu. Součet kinetické, potenciální a vnitřní energie zůstává v izolované soustavě konstantní.

Tepelnou výměnou se rozumí situace, kdy rychlejší částice teplejšího tělesa narážejí do chladnějšího a předávají částicím chladnějšího tělesa část své energie. S tímto souvisí **teplo**.

25.6 Teplo

25.6.1 Charakteristika

Teplo je fyzikální veličina, značí se Q a jednotkou je Joule. Při tepelné výměně odevzdává teplejší těleso teplo tělesu chladnějšímu.

25.6.2 Výpočet

Vztah:

$$Q = cm\Delta t$$

kde c je měrná tepelná kapacita.

25.7 První termodynamický zákon

25.7.1 Znění

Přírůstek vnitřní energie soustavy je roven součtu práce vykonané okolními tělesy a tepla Q dodaného do soustavy.

$$\Delta U = W + Q$$

25.7.2 Znaménková konvence

Jestliže soustava výměnou teplo **odevzdává**, tak je teplo Q ve vzorci záporné. Obdobně je tomu i s prací.

25.7.3 Adiabatický děj

Pokud platí, že teplo dodané/získané je rovno nule, tak zákon dostává podobu:

$$\Delta U = W$$

Neprobíhá tepelná výměna.

25.7.4 Není konána práce

Pokud není konána práce:

$$\Delta U = Q$$

25.7.5 Práce, kterou koná soustava

Pokud chceme vyjádřit práci, kterou vykoná soustava, tak ji označíme W' . Tato práce je stejně veliká jako práce W , akorát s opačným znaménkem.

$$\Delta U = -W' + Q$$

Aby nebyla práce záporná:

$$Q = \Delta U + W'$$

Teplo dodané soustavě se rovná součtu přírůstku její vnitřní energie ΔU a práce W' , kterou vykoná soustava.

25.7.6 Přenos vnitřní energie

Přenos může nastat:

- Vedením
- Zářením
- Prouděním u tekutiny.

25.7.7 Práce vykonaná plynem

Uvažujme stálý tlak (Izobarický děj):

$$W' = p\Delta V$$

Obsah křivky uvnitř PV diagramu znázorňuje práci vykonanou plynem.

25.8 Druhý termodynamický zákon

25.8.1 Znění

Není možné sestavit periodicky pracující tepelný stroj který by jen přijímal teplo a vykonával stejně velkou práci. To znamená, že by měl 100% účinnost.

25.8.2 Klasický tepelný stroj

Klasický tepelný zdroj pracuje podle schématu ohřívač - stroj - chladič. Teplota chladiče je menší než teplota ohřívače. Práci vykonanou strojem tedy vypočítáme jako rozdíl tepla Q_1 , které bylo dodáno ohřívačem a tepla Q_2 , které stroj odevzdal chladiči.

25.8.3 Jiné znění

Při tepelné výměně těleso o vyšší teplotě nemůže samovolně přijímat teplo z tělesa o nižší teplotě.

25.9 Práce v elektrickém poli

25.9.1 Charakteristika

Pokud v elektrickém poli přemístíme náboj z místa A do místa B, tak konáme práci. Značí se W_{AB} . Tato práce je dána rozdílem potenciálních energií těchto dvou bodů. Tyto potenciální energie se dají vyjádřit pomocí potenciálů.

$$E_p = (\phi_A - \phi_B)q$$

kde q je náboj.

$$U_{AB} = \Delta\phi = \phi_A - \phi_B$$

Odtud:

$$E_p = U_{AB} \cdot q$$

Tedy:

$$W_{AB} = E_p = U_{AB} \cdot q$$

25.9.2 Definice napětí

Napětí mezi body definujeme jako podíl práce vykonané na nějakém náboji posunutím v elektrickém poli a velikosti tohoto náboje. Tento vztah plyne ze vzorců nahoře.

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

25.9.3 Potencionální energie bodového náboje

Potencionální energie bodového náboje závisí na jeho poloze v elektrickém poli. Pokud se pohybujeme ve směru působení elektrické síly, pak se jeho potenciální energie zvětšuje. Za místo nulové potenciální energie volíme zemi. Práce vykonaná elektrickou silou:

$$W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$$

25.9.4 Elektrický potenciál

Elektrický potenciál se značí ϕ , je to poměr potenciální energie náboje v elektrickém poli a jeho velikosti. Je to skalární fyzikální veličina.

$$\phi = \frac{E_p}{q}$$

Jednotkou je volt. Napětí mezi místy je tedy rovno rozdílu potenciálů.

25.9.5 Ekvipotenciální plocha

Plocha, která je ve všech místech kolmá k siločarám, má všude stejný potenciál. Takovéto ploše pak říkáme ekvipotenciální plocha.

25.10 Elektrická energie kondenzátoru

Vztah:

$$E_k = \frac{1}{2}UQ$$

kde Q je náboj na deskách kondenzátoru. Nebo také

$$E_k = \frac{1}{2}CU^2$$

protože

$$Q = CU$$

25.11 Energie magnetického pole cívky

Vztah:

$$E_m = \frac{1}{2}LI^2$$

25.12 Energie elektromagnetického záření

Energie se elektromagnetickým vlněním přenáší od zdroje ke spotřebiči. Ve dvou-vodičovém vlnění není energie přenášena vodiči ale polem mezi nimi. Periodicky dochází k přeměně energie mezi elektrickým a magnetickým polem.