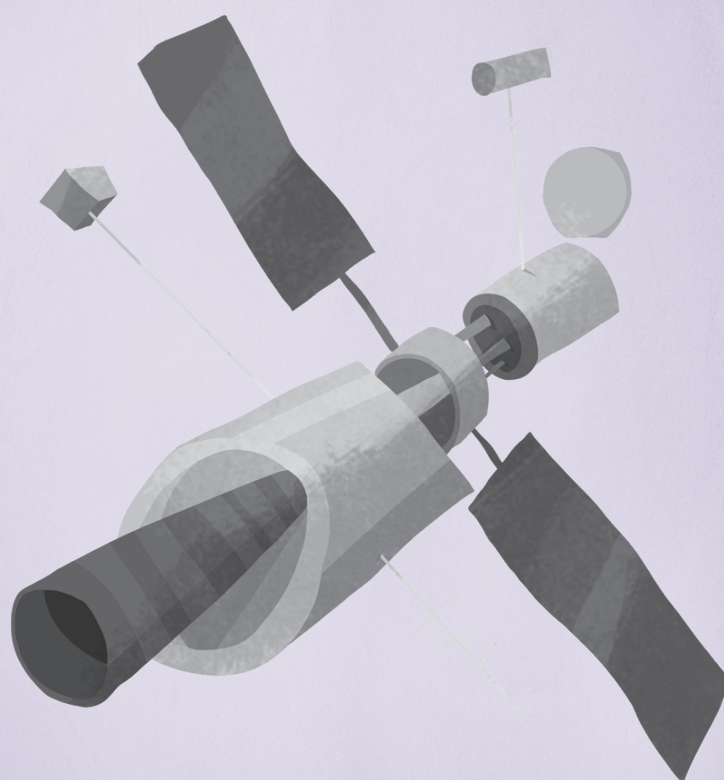


FYZIKA

# NÍZKÉ TEPLoty



Akademie věd ČR hledá mladé vědce

**OTEVŘENÁ VĚDA**

AKADEMIE VĚD ČR





# Úvodní list

<b>Předmět:</b>	Fyzika
<b>Cílová skupina:</b>	3. ročník SŠ/G
<b>Délka trvání:</b>	90 min.
<b>Název hodiny:</b>	Nízké teploty
<b>Výukový celek:</b>	Stavba a vlastnosti látek
<b>Vzdělávací oblast v RVP:</b>	Člověk a příroda
<b>Průřezová témata:</b>	<u>Výchova demokratického občana</u> – Rozvoj dovednosti formulovat vlastní myšlenky, výsledky pozorování, schopnost argumentace a obhajoba vlastního názoru. <u>Osobnostní a sociální výchova</u> – Rozvoj kognitivních schopností a kooperace v týmu, práce ve dvojicích a skupinách.
<b>Mezipředmětové vztahy:</b>	Chemie – hoření, materiálové vlastnosti související s chemickou strukturou.
<b>Výukové metody:</b>	Výklad, samostatná práce, učitelský experiment, žákovský experiment, samostatná práce.
<b>Organizační formy výuky:</b>	Frontální, skupinová, párová, individuální.
<b>Vstupní předpoklady:</b>	Žák rozumí a umí aktivně používat stavovou rovnici ideálního plynu. Rozumí pojmem magnetická indukce, Lorentzův zákon, jež dokáže vysvětlit. Žák se setkal s pojmy pružnost a pevnost, dokáže je rozlišit. Žák zná základy běžné laboratorní práce.
<b>Očekávané výstupy:</b>	Žáci pracují s kapalným dusíkem, indukují magnetem v trubce vířivé proudy, připravují kapalný kyslík. Budují si praktické laboratorní dovednosti. Žáci samostatně provádí experiment levitace neodymového magnetu nad supra-vodičem.
<b>Výukové cíle:</b>	Žák bude rozumět změně objemu plynu za konstantního tlaku se změnou teploty a dokáže jej kvalitativně popsat stejně jako pojem Lenzova zákona, žák bude schopen bezpečně pracovat s nízkoteplotním médiem, žák porozumí pojmu supravodivost a dokáže jej vlastními slovy vysvětlit.
<b>Klíčové kompetence:</b>	<u>Kompetence k učení</u> – Vyhledávání, třídění a propojování informací, používání odborné terminologie, experimentování a porovnávání získaných informací.



Kompetence k řešení problémů – Žáci vyhodnocují data na základě prováděných experimentů, nalézají souvislosti mezi získanými daty.

Kompetence komunikativní – Formulování myšlenek a názorů v logickém sledu, souvislé a výstižné vyjadřování v písemném i ústním projevu.

Kompetence sociální a personální – Spolupráce při řešení problémů ve skupině, tolerance jiných názorů.

Kompetence pracovní – Bezpečné používání materiálů, nástrojů a vybavení, pečlivost a trpělivost při realizaci levitace neodmyslového magnetu.

**Formy a prostředky hodnocení:**

Slovní hodnocení průběžné i závěrečné, sebehodnocení a zpětná vazba.

**Kritéria hodnocení:**

Splnění stanovených cílů, spolupráce ve dvojici nebo skupinkách, komunikativní dovednosti žáka, správnost vyplnění.

**Pomůcky:**

Pomůcky uvedené v experimentech, pracovní listy, psací potřeby, tabule, křída.



Časový a obsahový plán výukového celku (90 min.)

Název hodiny: Nízké teploty

Čas (min.)	Struktura výuky	Činnost učitele	Činnost žáků	Organizační formy výuky		Hodnocení	Pomůcky	Poznámka
				Výukové metody				
5	I. Úvod	Pozdrav, oznámení průběhu hodiny a cíle, přiblížení bezpečnosti práce s kapalným dusíkem, představení vlastností kapalného dusíku	Pozdrav, pochopení cíle, osvojení zásad bezpečné práce	Frontální		Zpětná vazba		
5	II. Práce s kapalným dusíkem – přidružená pozorování	Demonstrace experimentů podle pracovního listu, rozzdání pomůcek na pokusy, rozzdání pracovních listů	Žáci sledují učitelský experiment a seznamují se s pracovním listem	Frontální, párová, individuální	Výklad, učitelský experiment, heuristický rozhovor	Slovní, zpětná vazba	Psací potřeby, pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty	Pracovní list je uveden v příloze <i>Pracovní list pro studenta</i> , řešení pracovního listu je dokumentu <i>Pracovní list pro pedagoga</i>
15	III. Změna objemu plynů	Vysvětluje prováděný experiment, na tabuli píše stavovou rovnici ideálního plynu a vysvětluje jednotlivé členy	Studenti provádí experiment na základě učitelových pokynů a pracovního listu, statisticky určují průměr balonku, hodnoty zapisují do pracovního listu	Frontální, párová, individuální	Výklad, žákovský experiment	Slovní, zpětná vazba, kvantitativní	Tabule, křída, pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty	
15	IV. Kapalným kyslík	Vykládá složení vzduchu, demonstruje žákům experiment, rozlévá do plechovek kapalným dusíkem	Vyvolání žáci odpovídají na dotazy ohledně složení vzduchu, provádí experiment zkapalnění kyslíku a jeho důkaz na základě pracovního listu	Frontální, párová, individuální	Heuristický rozhovor, výklad, učitelský experiment, žákovský experiment	Slovní, zpětná vazba	Pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty	
15	V. Změna mechanických vlastností gumy	Výklad mechanických vlastností pevných látek, kontrola studentů při provádění experimentu	Studenti provádí experiment na základě pracovního listu	Frontální, párová	Výklad, rozhovor, žákovský experiment	Slovní, zpětná vazba	Pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty a pracovní list pro pedagoga	



15	VI. Lenzův zákon	Výklad magnetické indukce, připomíná Lenzův zákon	Studenti provádí experiment na základě pracovního listu	Frontální, párová Výklad, rozhovor, žákovský experiment	Slovní, zpětná vazba	Pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty a pracovní list pro pedagoga	
10	VII. Supravodivost	Vysvětluje supravodivost, souvislost s diamagnetiky	Studenti provádí experiment na základě pracovního listu	Frontální, párová Výklad, rozhovor, žákovský experiment	Slovní, zpětná vazba	Pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty a pracovní list pro pedagoga	
10	VIII. Závěr práce, shrnutí, ukončení hodiny	Zopakování nejzásadnějších poznatků z hodiny, dotazy na žáky, úklid pomůcek	Úklid pomůcek, odpovědi na dotazy vyučujícího	Frontální Rozhovor	Slovní		



## Pracovní list pro studenta

**Název:** Nízké teploty – Změna objemu plynu

**Jméno:**

*a) Úkol*

Pracuj s kapalným dusíkem a zkoušej, jak se s nízkými teplotami mění objem plynu uzavřeného v balonku.

*b) Výklad*

Kapalný dusík (teplota varu  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hustota  $804\text{ kg/m}^3$ ) se vyrábí frakční destilací zkapalněného vzduchu. Používá se jako efektivní možnost jak skladovat dusík, který se dále zplyní a poslouží jako inertní atmosféra nebo chladicí médium. V medicíně se využívá k vypalování bradavic.

Chování ideálního plynu lze popsat stavovou rovnicí:

$$pV = nRT,$$

kde  $p$  je tlak,  $V$  je objem plynu,  $n$  látkové množství plynu,  $R$  je univerzální plynová konstanta a  $T$  je termodynamická teplota. Pokud snížíme pomocí kapalného dusíku teplotu plynu uzavřeného v balonku, dochází prakticky k isobarickému snížení teploty, které je spojeno se snížením teploty.

*c) Pomůcky*

Pravítko, nádoba na kapalný dusík, kapalný dusík, ochranné rukavice, ochranné brýle.

*d) Pracovní postup*

1. Nafoukni balonek do poloviny objemu.
2. Desetkrát změř pravítkem na různých místech průměr balonku. Výsledky zaznamenej do tabulky.
3. Změř teplotu v místnosti.
4. Polévej po kapkách balonek kapalným dusíkem, pozoruj, co se děje s jeho objemem.
5. Balonek přestaň polévat a pozoruj, co se nyní děje s jeho objemem.

*e) Zpracování pokusu*

Do tabulky uveď měření průměru balonku.

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_{\text{balonek},n}$ [cm]										

Průměrná hodnota průměru balonku je .....

Teplota v místnosti je ..... K.





f) Závěr

Na základě naměřených hodnot průměru balonku urči objem balonku, zanedbej šišatost a předpokládej, že balonek je kulatý.

V nafouknutém balonku je přetlak asi 4 kPa. Urči objem vzduchu po vychlazení balonku kapalným dusíkem na teplotu  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak ve vychlazeném balonku je srovnatelný s atmosférickým (uvažuj standardní hodnotu 100 kPa). Pro výpočet uvažuj, že vzduch se chová jako ideální plyn.

Je ale tento předpoklad oprávněný? Vysvětli, uvaž, z čeho se skládá vzduch.

**Domácí cvičení:** V místnosti je tlak 100 kPa a teplota  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vypočítej, jak velký objem dusíku je možné najímat odpařením 10 ml kapalného dusíku (hustota  $804\text{ kg/m}^3$ , teplota varu  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Univerzální plynová konstanta má hodnotu  $8,314\text{ J/K/mol}$ . Předpokládej, že po vypaření se za uvedených podmínek dusík chová jako ideální plyn



## Pracovní list pro studenta

**Název: Nízké teploty – Kapalný kyslík**

**Jméno:**

*a) Úkol*

Pomocí kapalného dusíku připrav kapalný kyslík a otestuj, že tvůj pokus byl úspěšný.

*b) Výklad*

Vzduch obsahuje 21 % kyslíku, 78 % dusíku a dále pak 1 % ostatních plynů. Pomocí kapalného dusíku je možné ze vzduchu nechat zkondenzovat kyslík, který má vyšší teplotu varu než dusík,  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*c) Pomůcky*

Stojan s držákem, rozříznutá plechovka, kapalný dusík, nádoba na kapalný dusík, chemické kleště, vata, zápalky, ochranné rukavice, ochranné brýle.

*d) Pracovní postup*

1. Upevni plechovku do stojanu, aby bylo možné ji naplnit kapalným dusíkem.
2. Požádej učitele, ať ti plechovku naplní kapalným dusíkem, pozoruj stěny plechovky.
3. Vezmi do chemických kleští chomáček vaty, zapal ji.
4. Nech na hořící vatu kapat zkapalněný kyslík ze stěn zkumavky, pozoruj.

*e) Zpracování pokusu*

Co se děje na stěnách plechovky?

Charakterizuj, jak hoří vata ve vzduchu:

Jak vypadá plamen po kápnutí zkapalněného kyslíku?

*f) Závěr*

Vata je prakticky čistá celulóza. Chemicky se jedná o přírodní polymer, jehož stavebními jednotkami je sacharid glukóza  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Napište a vyčíslete chemickou rovnici dokonalého hoření glukózy v čistém kyslíku:





# Pracovní list pro studenta

**Název: Nízké teploty – Změna mechanických vlastností gumy**

**Jméno:**

*a) Úkol*

Ověř, jak se mění mechanické vlastnosti gumy s klesající teplotou.

*b) Výklad*

Se změnou teploty materiálů se mění rovněž jejich mechanické vlastnosti. Typickou změnu vlastností, která souvisí se změnou teploty, je možné pozorovat u kaučukovitých polymerů. Za standardních teplot se mohou v polymeru pohybovat a klouzat po sobě jednotlivá polymerní vlákna nebo jejich části. Při mechanickém namáhání polymer vykazuje jak elastické vlastnosti, tak se z části může plasticky deformovat. S klesající teplotou se pohyblivost řetězců zhoršuje, což se projevuje poklesem pružnosti. Pokud ale teplota klesne pod teplotu skelného přechodu daného materiálu, celé polymerní molekuly už se nemůžou pohybovat, kmitají pouze jednotlivé atomy kolem svých rovnovážných poloh, elasticita skokově klesá. Hovoříme o přechodu materiálu do skelného stavu, polymer je tvrdý a křehký.

*c) Pomůcky*

Kus gumové hadice, kladivo, kapalný dusík, nádoba na kapalný dusík, ochranné rukavice, ochranné brýle.

*d) Pracovní postup*

1. Vyzkoušej mechanické vlastnosti gumové hadice. Ohýbej ji, poklepej na ni kladivem.
2. Hadici opatrně ponoř do nádoby s kapalným dusíkem.
3. Když prudký var ustane, vyjmi hadici z nádoby s kapalným dusíkem.
4. Poklepej hadicí o lavici, pokus se ji opatrně rozbít kladivem.
5. Zbytky vymražené hadice nech položené na lavici. Průběžně sleduj, jak se mění mechanické vlastnosti hadice.

*e) Zpracování pokusu*

Popiš vlastnosti gumové hadice za standardních teplot.

Jak se změnila vlastnosti po vychlazení hadice?

Jsou zbytky gumy po ohřátí stále pružné? Vysvětli.



*f) Závěr*

Pneumatiky zaručují správnou přilnavost automobilu na vozovce. Kaučuk, elastický polymerní materiál, je základní surovinou při výrobě pneumatik. Vysvětli, proč není vhodné v zimě jezdit na letních pneumatikách.



# Pracovní list pro studenta

**Název: Nízké teploty – Lenzův zákon**

**Jméno:**

*a) Úkol*

Připomeň si a ověř Lenzův zákon pomocí experimentu s padajícím magnetem brzděným díky magnetické indukci.

*b) Výklad*

Lenzův zákon zní: Indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou. V našem experimentu budeme indukovat v trubce proudy zvané Foucaultovy, které budou brzdit padající magnet.

*c) Pomůcky*

Stojan s držákem, držák na zkumavky, kapalný dusík, nádoba na kapalný dusík, stopky, permanentní magnet ze slitiny Nd-Fe-B (neodymový magnet), plastová trubka, měděná trubka, ochranné rukavice, ochranné brýle.

*d) Pracovní postup*

1. Upevni svisle plastovou trubku do stojanu.
2. Vhod' neodymový magnet do trubky, pokus se změřit na stopkách dobu průletu neodymového magnetu touto trubkou.
3. Nahraď plastovou trubku měděnou trubkou.
4. Vhod' neodymový magnet do trubky, stopkami změř dobu průletu magnetu trubkou. Experiment opakuj desetkrát.
5. Ponoř měděnou trubku do nádoby s kapalným dusíkem. Když dusík přestane intenzivně vřít, trubka je vychlazená.
6. Vychlazenou trubku upevni opět do stojanu.
7. Vhod' neodymový magnet do trubky, stopkami změř dobu průletu magnetu trubkou.
8. Poslední experiment včetně vychlazení opakuj třikrát.

*e) Zpracování pokusu*

Jaký je přibližně čas průletu magnetu plastovou trubkou? Diskutujte přesnost měření.





Zaznamenávej čas průletu neodymového magnetu měděnou trubkou:

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{\text{hot}}$ [s]										

Z naměřených hodnot urči průměrnou hodnotu času průletu magnetu teplou měděnou trubkou:

Zaznamenávej čas průletu neodymového magnetu vychlazenou měděnou trubkou:

$n$	1	2	3
$t_{\text{cold}}$ [s]			

Z naměřených hodnot urči průměrnou hodnotu času průletu magnetu teplou měděnou trubkou:

#### f) Závěr

Spočítej dobu pádu neodymového magnetu (hmotnost 30 g) skrz svisle upevněnou plastovou trubku (délka trubky 50 cm). Magnet je do ústí trubky vložen, a tedy na vstupu do trubky má nulovou rychlost. Urči rychlost magnetu na výstupu z trubky. Uvažuj, že nedochází ke tření magnetu o plastovou trubku. Odpor vzduchu je zanedbatelný:

Proč neodymový magnet prochází pomaleji měděnou trubkou než plastovou?

Proč neodymový magnet prochází měděnou trubkou, která je vychlazená kapalným dusíkem, pomaleji než nevychlazenou?



# Pracovní list pro studenta

**Název: Nízké teploty – Supravodivost**

**Jméno:**

*a) Úkol*

Prozkoumej jev nazývaný supravodivost, nechej levitovat neodymový magnet.

*b) Výklad*

Jev zvaný supravodivost, který vykazují některé materiály po ochlazení, se projevuje poklesem elektrického odporu na  $0 \Omega$ . Supravodiče jsou tedy dokonalé vodiče. Navíc vykazují zajímavé magnetické vlastnosti.

Supravodivost některých kovů byla objevena v roce 1911. K dosažení supravodivosti byla potřeba extrémně nízká teplota  $-269 \text{ }^\circ\text{C}$ , jež mohla být dosažena pomocí kapalného helia, které je velmi drahé. V roce 1986 byly vyvinuty supravodivé keramiky, které však vykazují supravodivé vlastnosti už při  $-109 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tyto vysokoteplotní supravodiče už mohly být chlazeny levným kapalným dusíkem, což díky značným ekonomickým úsporám umožnilo jejich použití i mimo laboratoře.

Supravodiče se rovněž chovají jako dokonalá diamagnetika. Pokud je supravodič vložen do magnetického pole, dochází v důsledku supravodivých vlastností (vedení proudu beze ztrát) ke vzniku indukovaných proudů, které stíní vnější magnetické pole. Vnější magnetické pole je uvnitř supravodiče odstíněno dokonale a vnější magnetické pole se díky indukovaným stínícím proudům deformuje. Siločáry magnetického pole supravodičem tedy neprocházejí, ale obtékají ho. Díky popsaným magnetickým vlastnostem tedy dochází k „zamražení“ polohy magnetu pokud je přiblížen k supravodiči, pomocí čehož je možné dosáhnout levitace.

*c) Pomůcky*

Kapalný dusík, nádoba na kapalný dusík, sada na supravodivost (plastová pinzeta, nádoba na supravodič, vysokoteplotní supravodič (složení  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , kritická teplota  $-183 \text{ }^\circ\text{C}$ ), malý neodymový magnet), stopky, teploměr, ochranné rukavice, ochranné brýle.

*d) Pracovní postup*

1. Zaznamenej teplotu v místnosti.
2. Vyzkoušej interakci supravodiče o pokojové teplotě a neodymového magnetu jejich vzájemným přiblížením.
3. Připrav si pěnovou nádobku na supravodič, umísti do ní supravodič.
4. Na supravodič polož malý neodymový magnet.
5. Do nádobky nalij malé množství kapalného dusíku, tak aby byl supravodič celý ponořen.
6. Kapalný dusík se v průběhu chlazení supravodiče vypařuje a je třeba ho průběžně doplňovat.
7. Pokus se levitující magnet rozrotovat pomocí pinzety, vyzkoušej rovněž, jak magnet reaguje na vnější mechanické zásahy pinzetou.
8. Supravodič i s magnetem opatrně vyjmi z nádobky s dusíkem.
9. Změř čas, za jak dlouho se supravodič ohřeje nad kritickou teplotu  $-183 \text{ }^\circ\text{C}$ , což se projevuje vymizením supravodivosti (magnet přestane levitovat).



*e) Zpracování pokusu*

Teplota v místnosti:

Popiš interakci magnetu a nevychlazeného supravodiče:

Popiš chování magnetu nad vychlazeným supravodičem. Pozorování zakresli:

Za jak dlouho po vyndání supravodiče z kapalného dusíku dochází k prohřátí a ztrátě supravodivých vlastností?

*f) Závěr*

**Domácí cvičení:** Zjisti, zda se již využívá supravodivost v praxi? Pokud ano, kde?





# Pracovní list pro pedagoga

## Název: Nízké teploty – Změna objemu plynu

### a) Úkol

Pracuj s kapalným dusíkem a zkoušej, jak se s nízkými teplotami mění objem plynu uzavřeného v balonku.

### b) Výklad

Kapalný dusík (teplota varu  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hustota  $804\text{ kg/m}^3$ ) se vyrábí frakční destilací zkapalněného vzduchu. Používá se jako efektivní možnost jak skladovat dusík, který se dále zplyní a poslouží jako inertní atmosféra nebo chladicí médium. V medicíně se využívá k vypalování bradavic.

Chování ideálního plynu lze popsat stavovou rovnicí:

$$pV = nRT,$$

kde  $p$  je tlak,  $V$  je objem plynu,  $n$  látkové množství plynu,  $R$  je univerzální plynová konstanta a  $T$  je termodynamická teplota. Pokud snížíme pomocí kapalného dusíku teplotu plynu uzavřeného v balonku, dochází prakticky k isobarickému snížení teploty, které je spojeno se snížením teploty.

*Je důležité upozornit na bezpečnost práce při manipulaci s kapalným dusíkem, zejména na možnost vzniku omrzlin při styku s pokožkou. Rovněž je nutné dbát na bezpečnost při manipulaci s vychlazenými kovovými předměty a používat vhodné rukavice. Pro ochranu očí je nutné použít vhodné ochranné brýle.*

*Kapalný dusík je možné získat z různých provozů, kde se využívá pro vytváření inertní atmosféry, používá se rovněž v nemocnicích při vypalování bradavic. Je možné jej zakoupit například na této adrese:*

*[http://prodkatalog.linde-gas.cz/international/web/lq/cz/prodcatlqcz.nsf/Docbyalias/221\\_1](http://prodkatalog.linde-gas.cz/international/web/lq/cz/prodcatlqcz.nsf/Docbyalias/221_1)*

*Během výkladu je rovněž vhodné zařadit následující jednoduché demonstrační pokusy:*

- *Leidenfrostův jev*

*Při manipulaci s kapalným dusíkem často dochází k vylití malé části dusíku. Pokud je kapalný dusík nalit na rovnou hladkou podložku, je možné pozorovat, že se kapičky pohybují až nezvykle rychle. To proto, že se pohybují po plynovém polštáři. Při styku kapalného dusíku s více než o  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  teplejší podložkou se okamžitě část kapky vypaří a kapka se pak pohybuje po polštáři z takto vypařeného dusíku. Stejný jev je možné pozorovat při kápnutí vody na rozpálenou pánev.*

- *Kondenzace vzdušné vlhkosti ve studeném vypařeném dusíku*

*Nad otevřenou nádobou s kapalným dusíkem je možné pozorovat bílý obláček. Dusík je bezbarvý inertní plyn, je tedy zřejmé, že se nejedná o obláček dusíku. Ve studeném plynu, který vznikne vypařením z kapalného dusíku, dochází ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a pozorovaný obláček jsou malé kapičky vody, mlha. Jev je možné zintenzivnit fouknutím do nádoby s kapalným dusíkem. Rovněž je vhodné napustit jinou nádobu horkou vodou a přilít kapalným dusíkem. Je možné pozorovat intenzivně se vyvíjející mlhu.*

- *Inertnost*

*Dusík je plyn nepodporující hoření. Stačí přiblížit hořící špejli poblíž nádoby s kapalným dusíkem a v důsledku lokálního zvýšení koncentrace dusíku dochází ke zhasnutí plamene.*



## c) Pomůcky

Pravítko, nádoba na kapalným dusík, kapalným dusík, ochranné rukavice, ochranné brýle.

## d) Pracovní postup

1. Nafoukni balonek do poloviny objemu.
2. Desetkrát změř pravítkem na různých místech průměr balonku. Výsledky zaznamenej do tabulky.
3. Změř teplotu v místnosti.
4. Polévej po kapkách balonek kapalným dusíkem, pozoruj, co se děje s jeho objemem.
5. Balonek přestaň polévat a pozoruj, co se nyní děje s jeho objemem.

## e) Zpracování pokusu

Do tabulky uveď měření průměru balonku.

*Výsledky se rapidně liší v závislosti na nafouknutí balonku.*

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_{\text{balonek},n}$ [cm]										

Průměrná hodnota průměru balonku je  $d_{\text{balonek}} = \frac{\sum_{n=1}^{10} d_{\text{balonek},n}}{n_{\text{max}}}$ .

*Nutno určit z výše uvedených hodnot, které se liší dle stupně nafouknutí.*

Teplota v místnosti je  $T_1$  (pokud není k dispozici teploměr, uvažujte teplotu 22 °C).

## f) Závěr

Na základě naměřených hodnot průměru balonku urči objem balonku, zanedbej šišatost a předpokládej, že balonek je kulatý.

*Obecné řešení určíme ze znalosti aritmetického průměru hodnot průměrů balonku:*

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d_{\text{balonek}}}{2}\right)^3$$

*Konkrétní výsledek je určen dosazením studenty získaných hodnot.*

V nafouknutém balonku je přetlak asi 4 kPa. Urči objem vzduchu po vychlazení balonku kapalným dusíkem na teplotu -196 °C, tlak ve vychlazeném balonku je srovnatelný s atmosférickým (uvažuj standardní hodnotu 100 kPa). Pro výpočet uvažuj, že vzduch se chová jako ideální plyn.

$$p^\circ = 100 \text{ kPa}, \Delta p = 4 \text{ kPa}, V_1 = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d_{\text{balonek}}}{2}\right)^3, T_1, T_2 = (-196 + 273,15) \text{ K} = 77,15 \text{ K}, p_2 = p^\circ = 100 \text{ kPa}, V_2 = ?$$

Tlak v balonku na počátku:  $p_1 = p^\circ + \Delta p$

*Při výpočtu vycházíme ze stavové rovnice ideálního plynu pro uzavřený systém:*



$$\frac{pV}{T} = \text{konst}$$

Potom tedy platí rovnost stavu před zchlazením a po zchlazení:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Z čehož lze vyjádřit neznámý objem  $V_2$ , rovněž dosadíme za  $p_1$  a  $V_1$ :

$$V_2 = \frac{1}{6} \pi \frac{(p^\circ + \Delta p) d_{\text{balonek}}^3 T_2}{T_1 p_2}$$

Je ale tento předpoklad oprávněný? Vysvětlí, uvaž, z čeho se skládá vzduch.

*Předpoklad není zcela oprávněný, vzduch rovněž obsahuje 21 % kyslíku, který má teplotu varu vyšší než je teplota varu dusíku. Proto může při ochlazování balonku kapalným dusíkem kyslík uvnitř balonku zkapalnit, tím pádem už je zcela neoprávněný předpoklad ideálního plynu.*

**Domácí cvičení:** V místnosti je tlak 100 kPa a teplota 22 °C. Vypočítej, jak velký objem dusíku je možné najímat odpařením 10 ml kapalného dusíku (hustota 804 kg/m<sup>3</sup>, teplota varu -196 °C). Univerzální plynová konstanta má hodnotu 8,314 J/K/mol. Předpokládej, že po vypaření se za uvedených podmínek dusík chová jako ideální plyn.

$p = 100 \text{ kPa}$ ,  $T = (22 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}$ ,  $V_0 = 10 \text{ ml}$ ,  $\rho = 804 \text{ kg/m}^3$ ,  $R = 8,314 \text{ J/K/mol}$ ,  $M = 28 \text{ g/mol}$ ,  $V = ?$

Vycházíme ze stavové rovnice ideálního plynu:

$$pV = nRT$$

Látkové množství je látkové množství kapalného dusíku:

$$n = \frac{\rho V_0}{M}$$

Objem vzniklého plynu je tedy možné vyjádřit jako:

$$\underline{V} = \frac{\rho V_0}{Mp} RT = \frac{804 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{22 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 100 \cdot 10^3 \text{ Pa}} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \cdot 295,15 \text{ K} = \underline{8,97 \text{ l}}$$





## Pracovní list pro pedagoga

### Název: Nízké teploty – Kapalný kyslík

#### a) Úkol

Pomocí kapalného dusíku připrav kapalný kyslík a otestuj, že tvůj pokus byl úspěšný.

#### b) Výklad

Vzduch obsahuje 21 % kyslíku, 78 % dusíku a dále pak 1 % ostatních plynů. Pomocí kapalného dusíku je možné ze vzduchu nechat zkondenzovat kyslík, který má vyšší teplotu varu než dusík,  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### c) Pomůcky

Stojan s držákem, rozříznutá plechovka, kapalný dusík, nádoba na kapalný dusík, chemické kleště, vata, zápalky, ochranné rukavice, ochranné brýle.

#### d) Pracovní postup

1. Upevni plechovku do stojanu, aby bylo možné ji naplnit kapalným dusíkem.
2. Požádej učitele, ať ti plechovku naplní kapalným dusíkem, pozoruj stěny plechovky.
3. Vezmi do chemických kleští chomáček vaty, zapal ji.
4. Nech na hořící vatu kapat zkapalněný kyslík ze stěn zkumavky, pozoruj.

*Kapalný kyslík je nebezpečný ve větším množství. Proto je nutné dohlédnout na žáky, že experiment provádí pouze tak, jak je psáno v pracovním postupu. Jakékoliv jiné jímání kapalného kyslíku ve větším množství je krajně nevhodné.*

#### e) Zpracování pokusu

Co se děje na stěnách plechovky?

*Na stěnách plechovky nejprve desublimuje vzdušná vlhkost (vzniká bílá jinovatka) a poté na stěně plechovky začíná ze vzduchu kondenzovat kapalný kyslík, vytváří se kapky kapalného kyslíku.*

Charakterizuj, jak hoří vata ve vzduchu:

*Vata hoří nedokonale a špatně, intenzita plamene je velmi nízká, vzniká velké množství uhlíku.*

Jak vypadá plamen po kápnutí zkapalněného kyslíku?

*Spalování začne probíhat stechiometricky, intenzita plamene se značně zvýší.*

#### f) Závěr

Vata je prakticky čistá celulóza. Chemicky se jedná přírodní polymer, jehož stavebními jednotkami je sacharid glukóza  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Napiš a vyčíslí chemickou rovnici dokonalého hoření glukózy v čistém kyslíku:

*Hoření glukózy je možné zapsat následující chemickou rovnicí:*





## Pracovní list pro pedagoga

### Název: Nízké teploty – Změna mechanických vlastností gumy

#### a) Úkol

Ověř, jak se mění mechanické vlastnosti gumy s klesající teplotou.

#### b) Výklad

Se změnou teploty materiálů se mění rovněž jejich mechanické vlastnosti. Typickou změnou vlastností, která souvisí se změnou teploty, je možné pozorovat u kaučukovitých polymerů. Za standardních teplot se mohou v polymeru pohybovat a klouzat po sobě jednotlivá polymerní vlákna nebo jejich části. Při mechanickém namáhání polymer vykazuje jak elastické vlastnosti, tak se z části může plasticky deformovat. S klesající teplotou se pohyblivost řetězců zhoršuje, což se projevuje poklesem pružnosti. Pokud ale teplota klesne pod teplotu skelného přechodu daného materiálu, celé polymerní molekuly už se nemůžou pohybovat, kmitají pouze jednotlivé atomy kolem svých rovnovážných poloh, elasticita skokově klesá. Hovoříme o přechodu materiálu do skelného stavu, polymer je tvrdý a křehký.

#### c) Pomůcky

Kus gumové hadice, kladivo, kapalný dusík, nádoba na kapalný dusík, ochranné rukavice, ochranné brýle.

#### d) Pracovní postup

1. Vyzkoušej mechanické vlastnosti gumové hadice. Ohýbej ji, poklepej na ni kladivem.
2. Hadici opatrně ponoř do nádoby s kapalným dusíkem.
3. Když prudký var ustane, vyjmi hadici z nádoby s kapalným dusíkem.
4. Poklepej hadicí o lavici, pokus se ji opatrně rozbít kladivem.
5. Zbytky vymražené hadice nech položené na lavici. Průběžně sleduj, jak se mění mechanické vlastnosti hadice.

*Je nutné chránit zrak, gumové střepy odlétají při rozbití hadice velkou rychlostí.*

#### e) Zpracování pokusu

Popiš vlastnosti gumové hadice za standardních teplot.

*Guma je pružná a ohebná, vykazuje elastické vlastnosti, při větším zatížení se plasticky deformuje.*

Jak se změnilo vlastnosti po vychlazení hadice?

*Po vychlazení hadice v kapalném dusíku se materiál chová jako sklo. Je velmi křehký a pevný. Hadice není ani trochu elastická nebo plastická.*

Jsou zbytky gumy po ohřátí stále pružné? Vysvětli.

*Po ohřátí kousků gumy se původní viskoelastické vlastnosti navrací do původního stavu. Jedná se o vratný děj, nedochází k nevratným změnám ve struktuře gumy.*



#### f) Závěr

Pneumatiky zaručují správnou přilnavost automobilu na vozovce. Kaučuk, elastický polymerní materiál, je základní surovinou při výrobě pneumatik. Vysvětli, proč není vhodné v zimě jezdit na letních pneumatikách.

*Jak bylo i v experimentech ukázáno, s klesající teplotou klesá i elasticita polymerních materiálů. Základní látkou pro výrobu letních a zimních pneumatik je kaučuk. Záleží ale i na příměsích a konstrukci pneumatiky. Obecně platí, že za stejné teploty jsou letní pneumatiky tvrdší (v létě je tepleji a pneumatika změkne a dobře přilne k vozovce) a zimní měkčí (aby i v mrazech dobře přilnuly k vozovce). Letní pneumatika má tedy na vozovce při nižších teplotách horší přilnavost, a proto není vhodné v zimě jezdit na těchto pneumatikách. Navíc mají letní i zimní pneumatiky odlišný dezén, který v případě zimních pneumatik umožňuje lepší jízdu ve sněhu.*





# Pracovní list pro pedagoga

## Název: Nízké teploty – Lenzův zákon

### a) Úkol

Připomeň si a ověř Lenzův zákon pomocí experimentu s padajícím magnetem brzděným díky magnetické indukci.

### b) Výklad

Lenzův zákon zní: Indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou. V našem experimentu budeme indukovat v trubce proudu zvané Foucaultovy, které budou brzdit padající magnet.

*Pád neodymového magnetu uvnitř trubky je zpomalován Foucaultovými vířivými proudy. Tyto proudy vznikají, pokud dochází ke vzájemné změně polohy magnetického pole a vodivého tělesa. Na základě tohoto relativního pohybu je vyvolána cirkulace elektronů v tělese a je indukován proud působící proti změně, která ho vyvolala (v souvislosti s Lenzovým zákonem). Ve výsledku tedy dochází k brždění magnetu. Pokud je měděná trubka vychlazená kapalným dusíkem, dochází ke zvýšení elektrické vodivosti mědi (přibližně šestkrát) a efekt brždění Foucaultovými proudy je ještě silnější.*

*Animace znázorňující magnetickou indukci:*

*<http://regentsprep.org/Regents/physics/phys08/clenslaw/>*

### c) Pomůcky

Stojan s držákem, držák na zkumavky, kapalný dusík, nádoba na kapalný dusík, stopky, permanentní magnet ze slitiny Nd-Fe-B (neodymový magnet), plastová trubka, měděná trubka, ochranné rukavice, ochranné brýle.

### d) Pracovní postup

1. Upevni svisle plastovou trubku do stojanu.
2. Vhod' neodymový magnet do trubky, pokus se změřit na stopkách dobu průletu neodymového magnetu touto trubkou.
3. Nahraď plastovou trubku měděnou trubkou.
4. Vhod' neodymový magnet do trubky, stopkami změř dobu průletu magnetu trubkou. Experiment opakuj desetkrát.
5. Ponoř měděnou trubku do nádoby s kapalným dusíkem. Když dusík přestane intenzivně vřít, trubka je vychlazená.
6. Vychlazenou trubku upevni opět do stojanu.
7. Vhod' neodymový magnet do trubky, stopkami změř dobu průletu magnetu trubkou.
8. Poslední experiment včetně vychlazení opakuj třikrát.

### e) Zpracování pokusu

Jaký je přibližně čas průletu magnetu plastovou trubkou? Diskutujte přesnost měření.

*Čas průletu plastovou trubkou je velmi malý, rozhodně menší než 1 s. Takto krátké intervaly*



*prakticky nelze pomoci ručních stopek změřit. (Měření je zatíženo systematickou chybou v důsledku pozdního zmáčknutí stopek. Lidská doba reakce je pro tento případ velmi dlouhá.)*

Zaznamenávej čas průletu neodymového magnetu měděnou trubicí:

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{\text{hot}}$ [s]										

Z naměřených hodnot urči průměrnou hodnotu času průletu magnetu teplou měděnou trubicí:

*Aritmetickým průměrem naměřených hodnot je určen čas průletu, typicky v řádu jednotek sekund.*

Zaznamenávej čas průletu neodymového magnetu vychlazenou měděnou trubicí:

$n$	1	2	3
$t_{\text{cold}}$ [s]			

Z naměřených hodnot urči průměrnou hodnotu času průletu magnetu teplou měděnou trubicí:

*Naměřený čas bude opět v řádu jednotek až desítek sekund, ale zřetelně delší oproti předchozímu experimentu.*

## f) Závěr

Spočítejte dobu pádu neodymového magnetu (hmotnost 30 g) skrz svisle upevněnou plastovou trubicí (délka trubky 50 cm). Magnet je do ústí trubky vložen a tedy na vstupu do trubky má nulovou rychlost. Urči rychlost magnetu na výstupu z trubky. Uvažuj, že nedochází ke tření magnetu o plastovou trubicí. Odpor vzduchu je zanedbatelný:

*Z definovaných podmínek vyplývá, že při průletu magnetu trubicí se jedná o volný pád.*

$$h = 50 \text{ cm}, g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

*Dobu volného pádu určíme ze vztahu:*

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

*Vypočítáme tedy čas pádu nebržděného magnetu:*

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,50 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 0,32 \text{ s}$$

*Platí zákon zachování mechanické energie:*

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



*Ze zákona zachování mechanické energie získáváme vztah pro rychlost magnetu na výstupu z trubice:*

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,50 \text{ m}} = 3,13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Proč neodymový magnet prochází pomaleji měděnou trubicou než plastovou?

*Pohyb magnetu uvnitř měděné trubky je brzděn na Foucaultovými vířivými proudy vznikajícími v souladu s Lenzovým zákonem magnetickou indukci.*

Proč neodymový magnet prochází měděnou trubicou, která je vychlazená kapalným dusíkem, pomaleji než nevychlazenou?

*Odpor mědi jako odpor všech kovů se snižující se teplotou klesá, efekt vzniku vířivých proudů je díky nižšímu odporu mědi ještě silnější.*



# Pracovní list pro pedagoga

## Název: Nízké teploty – Supravodivost

### a) Úkol

Prozkoumej jev nazývaný supravodivost, nechej levitovat neodymový magnet.

### b) Výklad

Jev zvaný supravodivost, který vykazují některé materiály po ochlazení, se projevuje poklesem elektrického odporu na  $0 \Omega$ . Supravodiče jsou tedy dokonalé vodiče. Navíc vykazují zajímavé magnetické vlastnosti.

Supravodivost některých kovů byla objevena v roce 1911. K dosažení supravodivosti byla potřeba extrémně nízká teplota  $-269 \text{ }^\circ\text{C}$ , jež mohla být dosažena pomocí kapalného helia, které je velmi drahé. V roce 1986 byly vyvinuty supravodivé keramiky, které však vykazují supravodivé vlastnosti už při  $-109 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tyto vysokoteplotní supravodiče už mohly být chlazeny levným kapalným dusíkem, což díky značným ekonomickým úsporám umožnilo jejich použití i mimo laboratoře.

Supravodiče se rovněž chovají jako dokonalá diamagnetika. Pokud je supravodič vložen do magnetického pole, dochází v důsledku supravodivých vlastností (vedení proudu beze ztrát) ke vzniku indukovaných proudů, které stíní vnější magnetické pole. Vnější magnetické pole je uvnitř supravodiče odstíněno dokonale a vnější magnetické pole se díky indukovaným stínícím proudům deformuje. Siločáry magnetického pole supravodičem tedy neprochází, ale obtékají ho. Díky popsaným magnetickým vlastnostem tedy dochází k „zamražení“ polohy magnetu pokud je přiblížen k supravodiči, pomocí čehož je možné dosáhnout levitace.

### c) Pomůcky

Kapalný dusík, nádoba na kapalný dusík, sada na supravodivost (plastová pinzeta, nádoba na supravodič, vysokoteplotní supravodič (složení  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , kritická teplota  $-183 \text{ }^\circ\text{C}$ ), malý neodymový magnet), stopky, teploměr, ochranné rukavice, ochranné brýle.

### d) Pracovní postup

1. Zaznamenej teplotu v místnosti.
2. Vyzkoušej interakci supravodiče o pokojové teplotě a neodymového magnetu jejich vzájemným přiblížením.
3. Připrav si pěnovou nádobku na supravodič, umísti do ní supravodič.
4. Na supravodič polož malý neodymový magnet.
5. Do nádobky nalij malé množství kapalného dusíku, tak aby byl supravodič celý ponořen.
6. Kapalný dusík se v průběhu chlazení supravodiče vypařuje a je třeba ho průběžně doplňovat.
7. Pokus se levitující magnet rozrotovat pomocí pinzety, vyzkoušej rovněž, jak magnet reaguje na vnější mechanické zásahy pinzetou.
8. Supravodič i s magnetem opatrně vyjmi z nádobky s dusíkem.
9. Změř čas, za jak dlouho se supravodič ohřeje nad kritickou teplotu  $-183 \text{ }^\circ\text{C}$ , což se projevuje vymizením supravodivosti (magnet přestane levitovat).

*Vysokoteplotní supravodič je na vlhkosti nestabilní, proto je nutné po skončení experimentů supravodič otřít od zkondenzované vody a uložit.*





### e) Zpracování pokusu

Teplota v místnosti:

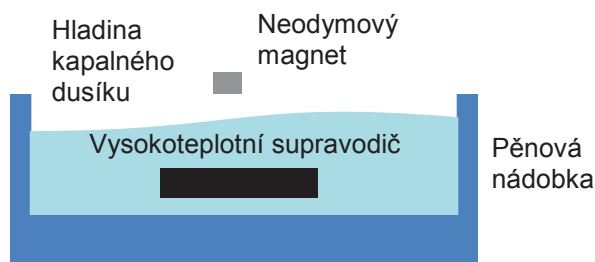
*Pokud není k dispozici teploměr, implicitně uvažovat 22 °C.*

Popiš interakci magnetu a nevychlazeného supravodiče:

*Magnet a nevychlazený supravodič spolu nijak neinteragují.*

Popiš chování magnetu nad vychlazeným supravodičem. Pozorování zakresli:

*Magnet se vznáší nad supravodičem. Při vychýlení se vrací do původní polohy. Pokud je neodymový magnet rozotován, rotace není díky symetrii magnetu bržděna elektromagneticky, pouze odporem vzduchu.*



Obrázek 1: Levitace neodymového magnetu nad vysokoteplotním supravodičem.

Za jak dlouho po vyndání supravodiče z kapalného dusíku dochází k prohřátí a ztrátě supravodivých vlastností?

*Odeznění supravodivých vlastností je způsobené prohřátím supravodiče nad kritickou teplotu. V tomto případě dochází k ohřevu z -196 °C na -183 °C. V místnosti, ve které je teplota 22 °C, probíhá tepelná výměna velmi rychle a supravodič je ohřátý během několika vteřin.*

### f) Závěr

**Domácí cvičení:** Zjisti, zda se již využívá supravodivost v praxi? Pokud ano, kde?

*Supravodivé cívky se využívají například v rychlovlacích MAGLEV pro vytvoření magnetického polštáře, na kterém se celý vlak pohybuje. Rovněž můžeme supravodivé cívky nalézt pro vytváření silného magnetického pole v zařízení pro magnetickou rezonanci v nemocnicích.*



# Opakování

**Název: Nízké teploty**

**Jméno:**

1) V místnosti je tlak 100 kPa a teplota 22 °C. Vypočítej, jak velký objem dusíku je možné najímat odpařením 10 ml kapalného dusíku (hustota 804 kg/m<sup>3</sup>, teplota varu -196 °C). Univerzální plynová konstanta má hodnotu 8,314 J/K/mol. Předpokládej, že po vypaření se za uvedených podmínek dusík chová jako ideální plyn. Molární hmotnost dusíku je 28 g/mol.

2) Nesprávná tvrzení oprav:

Kapalný dusík je chladicí médium o teplotě -196 °C. Zplyňováním dusíku vzniká nažloutlý plyný dusík, který lehce podporuje hoření.

Bod varu kyslíku je nižší než dusíku, proto lze kapalný kyslík připravit kondenzací ze vzduchu na plechovce, ve které je kapalný dusík.

Vychlazením elastických polymerů pod teplotu kamenného přechodu lze dosáhnout významného snížení modulu pružnosti.

Lenzův zákon zní: Indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou.

3) Doplňte tvrzení:

Při konstantním tlaku objem plynu s rostoucí teplotou .....

Vodivost mědi se snižující se teplotou .....

Supravodivé předměty vykazují odpor přesně .....

Magnetické pole je v supravodičích dokonale stíněno, hovoříme, že se jedná z pohledu interakce s magnetickým polem o dokonalá

.....



## Opakování – řešení pro pedagoga

### Název: Nízké teploty

1) V místnosti je tlak 100 kPa a teplota 22 °C. Vypočítej, jak velký objem dusíku je možné najímat odpařením 10 ml kapalného dusíku (hustota 804 kg/m<sup>3</sup>, teplota varu -196 °C). Univerzální plynová konstanta má hodnotu 8,314 J/K/mol. Předpokládej, že po vypaření se za uvedených podmínek dusík chová jako ideální plyn. Molární hmotnost dusíku je 28 g/mol.

$p = 100 \text{ kPa}$ ,  $T = (22+273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}$ ,  $V_0 = 10 \text{ ml}$ ,  $\rho = 804 \text{ kg/m}^3$ ,  $R = 8,314 \text{ J/K/mol}$ ,  $M = 28 \text{ g/mol}$ ,  $V = ?$

Vycházíme ze stavové rovnice ideálního plynu:

$$pV = nRT$$

Látkové množství je látkové množství kapalného dusíku:

$$n = \frac{\rho V_0}{M}$$

Objem vzniklého plynu je tedy možné vyjádřit jako:

$$\underline{V} = \frac{\rho V_0}{Mp} RT = \frac{804 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{22 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 100 \cdot 10^3 \text{ Pa}} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \cdot 295,15 \text{ K} = \underline{8,97 \text{ l}}$$

### 2) Nesprávná tvrzení oprav:

Kapalný dusík je chladicí médium o teplotě -196 °C. Zplyňováním dusíku vzniká **nažloutlý BEZBARVÝ** plyný dusík, který **lehce podperuje NEPODPORUJE** hoření.

Bod varu kyslíku je **nižší- VYŠŠÍ** než dusíku, proto lze kapalný kyslík připravit kondenzací ze vzduchu na plechovce, ve které je kapalný dusík.

Vychlazením elastických polymerů pod teplotu **kamenného SKELNÉHO** přechodu lze dosáhnout významného snížení modulu pružnosti.

Lenzův zákon zní: Indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou.

### 3) Doplň tvrzení:

Při konstantním tlaku objem plynu s rostoucí teplotou **roste**.

Vodivost mědi se snižující se teplotou **roste**.

Supravodivé předměty vykazují odpor přesně **0 Ω**.

Magnetické pole je v supravodičích dokonale stíněno, hovoříme, že se jedná z pohledu interakce s magnetickým polem o dokonalá **diamagnetika**.



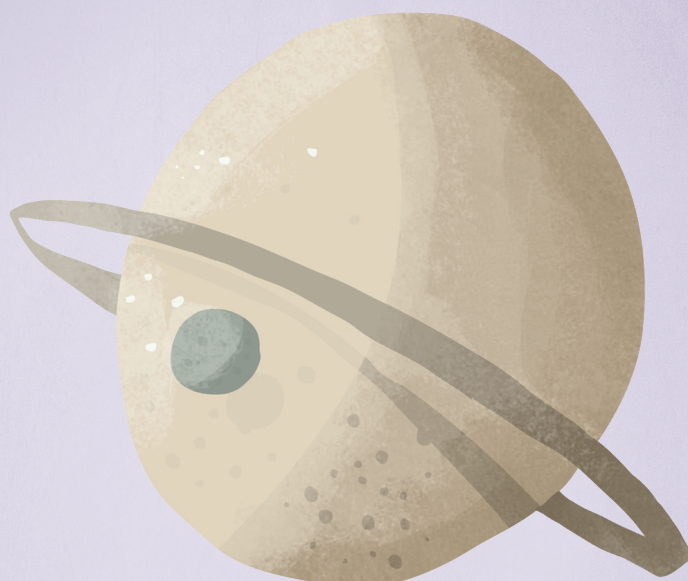






# Nízké teploty

RNDr. Petr Holzhauser, Ph.D., Ing. Jiří Vrána



[www.otevrenaveda.cz](http://www.otevrenaveda.cz)



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ