

8.5 Návod na laboratórne meranie č.9

Fázové premeny

➤ **Fázová premena** je náhla zmena mikroskopických a makroskopických, mechanických a iných vlastností látky, ktorá nastala pri zmene niektorej stavovej veličiny napríklad teploty. Pri fázovej premene sa vždy náhle zmenia niektoré jej vlastnosti, napr. hustota, tepelná vodivosť, hmotnostná tepelná kapacita, objem a pod. Za určitých okolností môžu v sústave existovať aj dve alebo tri fázy jednej látky súčasne. Látka resp. časti látky vtedy voľne prechádzajú z jedného skupenstva do druhého. Príkladom je voda, ktorá za určitej kombinácie teploty a tlaku existuje súčasne vo všetkých svojich skupenstvách - para, voda a ľad, ide o tzv. trojný bod. Prechod medzi fázami je spojený so zmenou vnútornej energie látky. To znamená že zvyčajne na prechod látky z jednej fázy (skupenstva) do druhej je potrebné dodať, resp. odobrať tepelnú energiu. Fázové premeny resp. prechody vedú ku zmene skupenstva látok, preto ich označujeme tiež ako *skupenská premena*, *skupenská zmena*. Medzi fázové prechody zaradíme: tuhnutie a topenie (tavenie), vyparovanie a kondenzácia (skvapalňovanie), sublimácia a desublimácia (Obr. 54 a Tab. 2).

➤ **Zvláštne prípady skupenstiev** vznikajú pri extrémnych tepelných, magnetických a pod. zaťaženiach látky, ktoré spôsobujú zmeny na atomárnych úrovniach a tak isto menia niektoré vlastnosti látok. Medzi takéto druhy patria napríklad: supravodivosť v látkach pri veľmi nízkych teplotách obvykle blízkyh absolútnej nule, feromagnetická fáza v magnetických materiáloch, zmena vlastností plynov (ionizácia) vplyvom tepla, žiarenia a pod., zmena vlastností látok pri extrémnych tlakoch pri ktorých dochádza k stlačeniu kryštálovej mriežky.

➤ Typológia fázových prechodov

Fázové prechody sú vo svojej podstate kooperatívne javy, kedy zúčastnené častice strácajú svoju individualitu, a hlavnú úlohu preberá ich vzájomná interakcia, ktorá vedie ku kvalitatívne odlišnému chovaniu systému ako celku. V súčasnosti poznáme dva druhy fázových prechodov – fázové prechody 1. a 2. druhu.

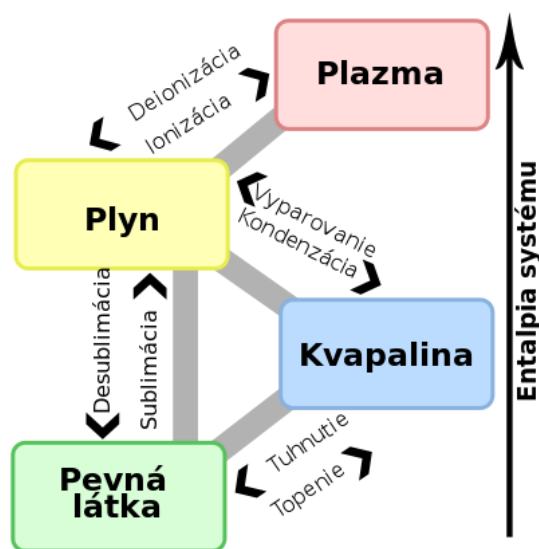
Tabuľka 2 Fázové premeny

Fázová premena				
z fázy (skupenstva)	Na fázu (skupenstvo)			
	Pevná látka	Kvapalina	Plyn	Plazma
Pevná látka	-	topenie	sublimácia	-
Kvapalina	tuhnutie	-	Var, vyparovanie	-
Plyn	desublimácia	kondenzácia	-	ionizácia
Plazma	-	-	deionizácia	-

➤ **Fázové prechody 1. druhu** - sú spojené s kvalitatívnou zmenou symetrie uvažovaného systému. Najnázornejším príkladom je topenie ľadu. Ľad je pevné skupenstvo vody, kedy sú molekuly vody usporiadané do kryštalickej mriežky (doplnenej

o vodíkové mosty). Pre kryštál je typická diskrétna translačná symetria. Ak si predstavíme nekonečný kryštál (v porovnaní s mikroskopickými vzdialenosťami medzi časticami je aj pre malý kúsok kryštálu nekonečnosť dobrá aproximácia), vzdialenosti medzi uzlami tejto mriežky sú všade rovnaké. Preto, ak celý kryštál posunieme o vzdialenosť mriežkovej konštanty, dostaneme ten istý kryštál. Kryštál je vysoko usporiadanou formou látky, pretože každá stavebná častica má svoje miesto.

Roztopený ľad, teda voda, sa vyznačuje oveľa vyššou symetriou. Molekuly vody nie sú usporiadané do mriežky, pohybujú sa náhodne všetkými smermi. Ak si však zoberieme fyzikálne merateľný objem kvapaliny, zistíme, že tento objem je vysoko symetrický. Ak posunieme (nekonečne rozpriestranenú) kvapalinu ktorýmkoľvek smerom, nič sa nezmení. Ak ju otočíme o ľubovoľný uhol, nič sa nezmení. Kvapalina sa vyznačuje spojitou rotačnou aj translačnou symetriou. Je teda viac symetrická než kryštál, ale menej usporiadaná, pretože symetria kvapaliny je daná práve tým, že v makroskopickom meradle je vysoko neusporiadaná.



Obrázok 54 Diagram fázových premen (wikipédia, 2019)

➤ **Fázové prechody 2. druhu** - sú tzv. spojité prechody. Pre fázové prechody 2. druhu existuje tzv. kritický bod, v ktorom sa obidve fázy stávajú nerozlíšiteľné a sústava sa stáva homogénnou. Príkladom takej veličiny je korelačná dĺžka (definíciu a podrobnejšie vysvetlenie pozri nižšie). Korelačná dĺžka je, zhruba povedané, vzdialenosť, na ktorú sa častice ovplyvňujú. Ďaleko od kritického bodu je táto vzdialenosť veľmi malá, rovná sa rádovo vzdialenosti medzi molekulami, a teda častice vplyvajú len na svoje najbližšie okolie. V kritickom bode ale korelačná dĺžka rastie do nekonečna a každá častica interaguje s celým systémom. Preto hovoríme o kooperatívnom jave. Vlastnosťami systémov v blízkosti kritického bodu sa zaoberá kritická dynamika. Ďalšou dôležitou vlastnosťou prechodov druhého druhu je ich univerzalita. Ako vysvetlíme, kritické správanie sústavy závisí len od dimenzie sústavy a dimenzionality tzv. parametra usporiadania.

Typickým príkladom fázového prechodu 2. druhu je vyparovanie vody. Rovnako, ako voda, aj para je vysoko symetrická. Presnejšie, grupa symetrií pary a vody je presne tá istá: voda aj para sa vyznačujú spojitou translačnou aj rotačnou symetriou. Kvapalina sa totiž vyparuje pri každej teplote. Ak teda uvažujeme izolovaný systém, v ktorom je kvapalina, je

tam automaticky aj jej para. Pri adiabatickom zvyšovaní teploty sa zvyšuje koncentrácia pary, ale obe fázy, kvapalná aj plynná, sú v dynamickej rovnováhe. Kvapalina postupne, spojite, prechádza do plynnej fázy. Pre fázové prechody 2. druhu je charakteristické, že obe fázy sa nelíšia kvalitatívne, len kvantitatívne. Napr. voda a para sa líšia koncentráciou častíc a intenzitou interakcie (častice plynnej fázy interagujú slabšie), ale nie stupňom symetrie.

Ďalším príkladom fázového prechodu 2. druhu je prechod neferomagnetickú fázu na feromagnetickú. Za neprítomnosti vonkajšieho magnetického poľa hovoríme o spontánnej magnetizácii. Kritický bod sa tu nazýva aj Curieho bod. Nad Curieho bodom sú magnetické dipólové momenty orientované náhodne, chaoticky, bez preferovaného smeru. Pri ochladení feromagnetika pod Curieho bod sa momenty spontánne zorientujú do jediného smeru.

➤ Teplota fázového prechodu

V tejto podkapitole sa venujeme charakteristike teploty vybraných fázových prechodov.

Teplota topenia alebo *teplota tavenia* - je teplota, pri ktorej látka mení fázu z tuhej na kvapalnú. Kryštalická látka, ktorá sa skladá z jediného prvku, alebo jedinej zlúčeniny má svoju charakteristickú teplotu topenia. Celá premena z tuhej látky na kvapalnú prebehne pri konštantnej teplote. Kryštalické látky z viacerých fáz (zliatina) alebo amorfné látky (sklo, keramické látky, termoplasty, tuky) nemajú určitú teplotu topenia, mäknú a menia sa na kvapalinu v rozmedzí určitých teplôt tzv. *intervale tavenia*.

Teplota topenia mierne závisí od tlaku, menej ako teplota varu. Chemickým prvkom s najvyššou teplotou topenia je volfrám (3 410 °C). Naproti tomu hélium existuje v tuhom skupenstve iba pri teplotách blízkyh absolútnej nule a tlaku 20-krát vyššom ako je atmosférický.

Topenie má rozdielny priebeh pre kryštalické látky a amorfné látky. Kryštalické látky sa topia pri konštantnej hodnote teploty zodpovedajúcej danému materiálu, amorfná látka prechádza do kvapalného skupenstva spojito v určitom intervale teplôt. Nemá teda presne daný bod topenia, ale pri zvyšovaní teploty postupne mäkne, pričom stúpa jej teplota. Mäknutie amorfnej látky je dôsledkom postupného znižovania viskozity. U amorfných látok teda nie je možné určiť presnú hranicu medzi jej skupenstvami.

Objem sa obvykle pri topení zväčšuje, teplota topenia teda s rastom tlaku stúpa. U niektorých látok sa však ich objem pri topení naopak znižuje a teplota topenia teda s rastúcim tlakom klesá. Tento jav je najznámejší pri vode, kde ľad (pevná látka) má väčší objem ako voda (kvapalina).

Za istých podmienok môže existovať pevná fáza i za bodom topenia. Hovoríme o prehriatí pevnej látky.

Teplota tuhnutia je teplota zmeny skupenstva v opačnom smere: z kvapalného na tuhé skupenstvo. Mnohé látky majú teplotu topenia a tuhnutia rovnakú, pri niektorých sa vyskytuje rozdiel, ktorý sa nazýva hysterezou. K tuhnutiu dochádza pri ochladení kvapaliny na teplotu tuhnutia. Teplota tuhnutia je rôzna pre rôzne látky.

Základné charakteristiky fázových premien sú zosumarizované v Tab. 3.

Tabuľka 3 Fázové premeny – základné charakteristiky

Fázová premena	Základné charakteristiky
topenie	✓ Je to dej, kedy sa dodaním určitého množstva energie narúša silové pôsobenie medzi časticami tuhej látky. ✓ Látka prechádza z pevnej fázy na kvapalnú fázu. ✓ <i>Skupenské teplo topenia</i> – teplo, ktoré prijme pevná látka pri skupenskom prechode na kvapalinu počas procesu topenia. ✓ Príklad: Premena ľadu na vodu.
tuhnutie	✓ Je to dej opačný k topeniu. ✓ Látka prechádza z fázy kvapalnej do fázy pevnej. ✓ <i>Skupenské teplo tuhnutia</i> – teplo, ktoré odovzdá kvapalná látka pri skupenskom prechode na pevnú látku počas procesu tuhnutia. ✓ Príklad: Premena vody na ľad.
sublimácia	✓ Je to dej, kedy látka prechádza z pevnej fázy priamo na fázu plynnú bez toho, aby pred tým prebehol proces topenia. ✓ <i>Skupenské teplo sublimácie</i> – teplo, ktoré prijme pevná látka pri priamom fázovom prechode na plyn počas procesu sublimácie. ✓ Príklad: Sublimácia jódu.
desublimácia	✓ Je to dej opačný k sublimácii. ✓ Plyn sa priamo mení na tuhú látku, bez toho, aby pred tým prebehol proces tuhnutia.
vyparovanie	✓ Je to dej, kedy sa dodaním určitého množstva energie narúša silové pôsobenie medzi časticami kvapalnej látky. ✓ Je to dej, kedy látka prechádza z kvapalnej fázy na plynnú fázu. ✓ <i>Skupenské teplo vyparovania</i> – teplo, ktoré prijme kvapalná látka pri fázovom prechode na plyn počas procesu vyparovania. ✓ Premena vody na paru.
kondenzácia	✓ Je to dej opačný k vyparovaniu. ✓ Látka prechádza z fázy plynnej do fázy kvapalnej. ✓ <i>Skupenské teplo kondenzácie</i> – teplo, ktoré odovzdá plyn pri fázovom prechode na kvapalnú látku počas procesu kondenzácie. ✓ Ak začneme vodnú paru ochladzovať, kondenzuje na vodu.

Určenie bodu tuhnutia z priebehu teploty

Dátum merania	Meno a priezvisko	Študijný odbor	Hodnotenie	
Určenie bodu tuhnutia z priebehu teploty			Teplota	
			Tlak	
			Vlhkosť	



Obrázok 55 Zariadenie na určenie bodu tuhnutia z priebehu teploty

➤ Teória k meraniu:

Látka v závislosti od teploty a tlaku sa môže vyskytovať v troch fázach - skupenstvách: tuhom, kvapalnom a plynnom. Pri zmene teploty alebo tlaku môže látka prejsť z jednej fázy do druhej fázy. Tento prechod vo všeobecnosti voláme fázový prechod (v niektorých prípadoch zmena skupenstva). Najznámejšie fázové prechody sú prechody látky z tuhého skupenstva do kvapalného, z kvapalného do plynného, prechod z jednej kryštalickej modifikácie do druhej, prechod kovu do supravodivého stavu a prechod kovu z

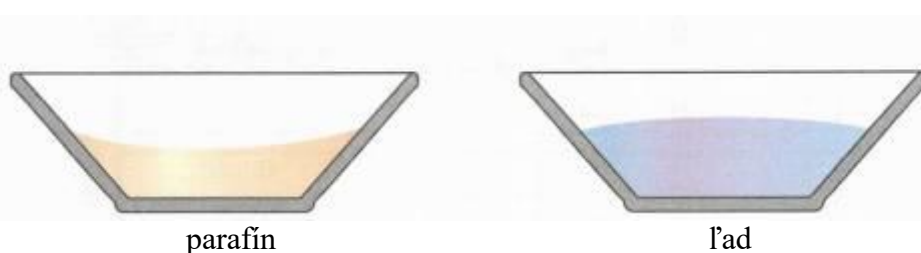
feromagnetického do paramagnetického stavu. Pri fázových prechodoch sa môže teplo uvoľňovať alebo absorbovať.

Dôležitým fázovým prechodom je prechod z tuhej fázy do kvapaliny resp. naopak, ktorý nazývame topenie resp. tuhnutie. Najčastejší prípad tuhnutia je kryštalizácia.

- ✓ *Skupenské teplo tuhnutia (topenia)* je to množstvo tepla, ktoré treba odobrať (pridať) látke, aby sa pri konštantnej teplote zmenilo skupenstvo z kvapalnej na tuhú fázu. Vyjadruje sa v Jouloch.
- ✓ *Hmotnostné skupenské teplo tuhnutia (topenia)* je to skupenské teplo tuhnutia (topenia) na hmotnostnú jednotku.
- ✓ *Proces tuhnutia (topenia)* - odoberaním (pridávaním) zložiek energie (kinetická a potenciálna) zo (do) sústavy sa znižuje (zvyšuje) stredná kvadratická rýchlosť molekúl telies sústavy až po hranicu, keď príťažlivé sily medzi molekulami spôsobia vytvorenie (porušenie) kryštalickej mriežky (ak ju má). Proces viazania molekúl medzimolekulovými silami sa deje pri konštantnej teplote. Proces topenia je opačný.

Pre pevné látky platí, že zohrievaním sa ich teplota zvyšuje, a keď dosiahne určitú hodnotu – teplotu topenia, ktorá je charakteristická pre danú látku, pevné skupenstvo sa mení na kvapalné. Niektoré látky sa topia pri nižších teplotách, ako napr. maslo, ľad. Iné musíme zohrievať na vysoké teploty, napríklad kovy, ako je oceľ, cín či železo, aby sa roztopili. Robí sa to v špeciálnych zariadeniach – vysokých peciach. Vtedy hovoríme o tavení. Ani priebeh topenia nie je u všetkých látok rovnaký. Topenie parafínu alebo skla je iné ako topenie ľadu. Najskôr popíšeme proces topenia ľadu.

Pri premene vody na ľad pozorujeme, že ľad zväčší svoj objem. Ak by sme naliali do dvoch pohárov dve rozdielne kvapaliny, napr. do jednej roztopený parafín a do druhej rovnaké množstvo vody, po stuhnutí oboch látok môžeme pozorovať, že parafín svoj objem zmenší, zatiaľčo ľad oproti vode svoj objem zväčší (Obr. 56). Väčšina kvapalín pri stuhnutí svoj objem znižuje, ale pre vodu to neplatí. Vysvetlenie správania sa látok pri premenách skupenstva je v ich časticovej stavbe. Častice kvapalných látok pri tuhnutí spomaľujú svoj pohyb a ukladajú sa k sebe. Častice vody sa ukladajú veľmi neúsporne, a tak v pevnom skupenstve zaberajú väčší priestor.



Obrázok 56 Stuhnutý parafín a zamrznutá voda

Pretože pri zamrznutí voda svoj objem zväčšuje, mení sa aj jej hustota. Hustota ľadu je 917 kg.m^{-3} a vody 1000 kg.m^{-3} . Preto ľad na vode pláva. Voda má ešte jednu zvláštnosť - najväčšiu hustotu dosahuje pri 4°C . Voda napríklad v jazere s touto teplotou klesá ku dnu a pod ľadom zostáva kvapalnom skupenstve. To vysvetľuje skutočnosť, že ryby aj ostatné živočíchy v nej môžu cez zimu prežiť. Tento fakt nazývame anomáliou vody. Voda sa mení na ľad pri 0°C . Túto teplotu nazývame teplotou tuhnutia. Pokiaľ sa všetka voda nepremení na

ľad, teplota na teplomere sa nemení, hoci mrznúcu vodu stále ochladzujeme. Ak sa všetka voda premenila na ľad a ľad ochladzujeme ďalej, jeho teplota klesá.

Z pokusov sa dá zistiť, že teplota topenia a teplota tuhnutia majú pre väčšinu látok rovnakú hodnotu. Rozdiel medzi topením a tuhnutím látok je v tom, že pri tuhnutí musíme kvapalinu ochladzovať a pri topení musíme pevnú látku zohrievať.

- **Úloha:** Určenie bodu tuhnutia z priebehu teploty
- **Pomôcky:** Rothov prístroj, teplomer, elektrický varič, Bunzenov stojan, skúmaná látka (parafín), stopky.
- **Postup:**

1. Zostavíme meracie pracovisko podľa Obr. 55.
2. Skontrolujeme, či je skúmaná látka naplnená vo vnútornej skúmavke Rothovho prístroja a skontrolujeme funkčnosť teplomera.
3. Realizujeme roztopenie látky zahriatím vodného kúpeľa Rothovho prístroja.
4. Vodný kúpeľ Rothovho prístroja zahrejeme, až nastane roztopenie skúmanej látky (malo by prísť k úplnému roztopeniu látky). Potom odložíme zdroj tepla (varič) a látku v skúmavke a vodnom kúpeli necháme voľne ochladzovať, pričom v jednomínútových intervaloch odčítavame teplotu zo stupnice teplomera.
5. Teploty látky odčítané v jednomínútových intervaloch zapisujeme do tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt.
6. Keď látka na pohľad stuhne, sledujeme ešte niekoľko minút teplotu látky (aspoň 5 minút) a hodnoty teploty zapíšeme do tabuľky.
7. Bod tuhnutia je daný teplotou, pri ktorej teplota látky klesá najpomalšie resp. tam, kde sa teplota látky takmer nemení.
8. Vypočítame rodiely teplôt a zapíšeme do tabuľky. Bod tuhnutia zistíme podľa najmensej hodnoty časovej zmeny teploty $\frac{\Delta t}{\Delta \tau}$.
9. Namerané hodnoty zakreslíme do grafu (podľa Obr. 57), v ktorom nanášame na vodorovnú os čas a na zvislú os nameranú teplotu. Oblasť grafickej závislosti reprezentujúcu bod tuhnutia na grafe zvýrazníme (napr. inou farbou).



Obrázok 57 Závislosť teploty od času

➤ Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt:

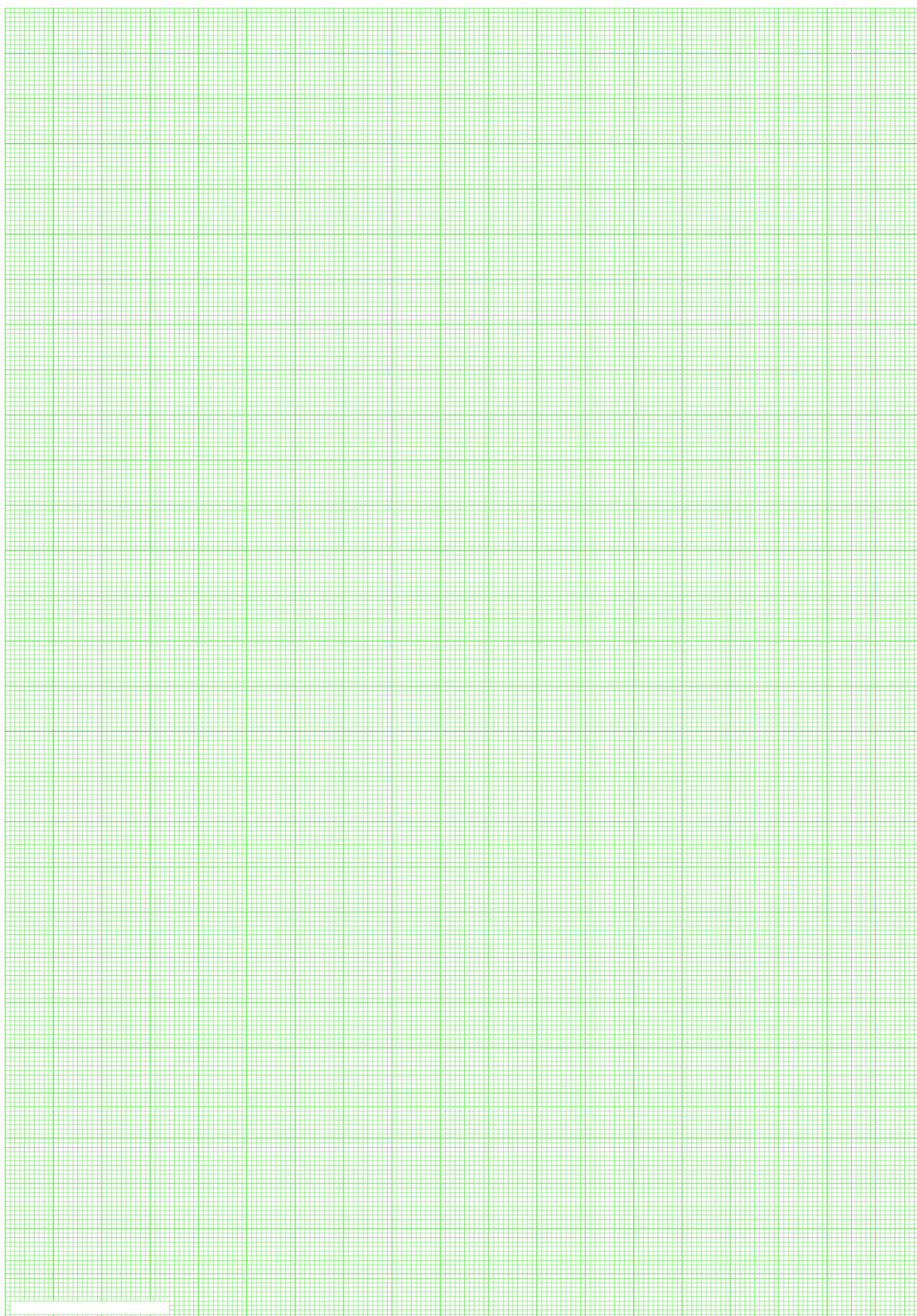
Čas τ (min)	Teplota t (°C)	Zmena teploty Δt (°C)
0		---
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		

45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		

71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		

➤ **Graf - názov:**



Zmena teploty:

$$\Delta t = t_i - t_{i-1}$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

➤ **Záver:**

1. Popíšte postup určenia bodu tuhnutia zo zakreslenej grafickej závislosti a charakterizujte teplotu tuhnutia a jej súvislosť s príslušným fázovým prechodom. Popíšte, čo sa deje s meranou látkou počas procesu topenia a tuhnutia. Napíšte ako spolu súvisia teplota topenia a teplota tuhnutia.

.....

.....

.....

2. Porovnajte zistenú teplotu zodpovedajúcu bodu tuhnutia neznámej látky s hodnotou teploty tuhnutia látok vo fyzikálno-chemických tabuľkách a určte akú látku ste použili pri meraní.

.....

.....

.....

3. Vymenujte a stručne charakterizujte zdroje chýb pri meraní bodu tuhnutia z priebehu teploty.

.....

.....

.....