

```
to bar = -57.5
to dm3 = -57.5
to cm3/mol = -57.5
sigp=0.001[bar] = 0.001 [bar]
```

Za teploty

$T=(300+\text{rnd}(78))*1[\text{K}] = 352 [\text{K}]$ jsme měřili tlak SF_6 v nádobě o objemu
 $V=(1+\text{rnd}(5))*1[\text{L}] = 2 [\text{dm}^3]$. Získali jsme následující závislost absolutního tlaku na látko-
vém množství plynu v nádobě:

```
Tc=318.7[K] = 318.7 [K]
pc=3.76[MPa] = 37.6 [bar]
a=R**2*Tc**2.5/pc/9/(cbirt(2)-1) = 14.25 [m5 kg s-2 K0.5 mol-2]
b=(cbirt(2)-1)/3*R*Tc/pc = 61.06 [cm3/mol]
def RK=R*T/(Vm-b)-a/sqrt(T)/Vm/(Vm+b) = (defined)
```

n	p
<pre>p=(0.38+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 4.147 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 6855 [cm3/mol] n=V/Vm = 0.2917 [mol] p+sigp*rnd(1) = 4.149 [bar]</pre>	
<pre>p=(0.78+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 7.963 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 3471 [cm3/mol] n=V/Vm = 0.5762 [mol] p+sigp*rnd(1) = 7.963 [bar]</pre>	
<pre>p=(1.18+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 11.82 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 2268 [cm3/mol] n=V/Vm = 0.8817 [mol] p+sigp*rnd(1) = 11.82 [bar]</pre>	
<pre>p=(1.58+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 16.09 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 1608 [cm3/mol] n=V/Vm = 1.243 [mol] p+sigp*rnd(1) = 16.09 [bar]</pre>	
<pre>p=(1.98+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 20.01 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 1248 [cm3/mol] n=V/Vm = 1.603 [mol] p+sigp*rnd(1) = 20.01 [bar]</pre>	

Vypočtěte druhý viriálový koeficient B za teploty

$T = 352 [\text{K}]$ a fugacitní koeficient φ za téže teploty a tlaku

```
p=1.6[MPa]+0.1[MPa]*rnd(3) = 17 [bar] .
```

Bonus (+10 bodů) Která hodnota je zatížena menší chybou? Proč?

Bonus (+20 bodů) Vypočítejte kompresibilitní faktor z za stejných podmínek a porovnejte s φ .

```
B2=b-a/R/T**1.5 = -198.5 [cm3/mol]
```

```
Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 1510 [cm3/mol]
```

```
def Z=RK*Vm/R/T = (defined)
```

```
lnphi=ln(Vm/(Vm-b))+a/(R*T**(3/2)*b)*ln(Vm/(Vm+b))-ln(Z)+Z-1 = -0.119
```

```
phi=exp(lnphi) = 0.8878
```

```
Z = 0.8769
```

Návod – viriálový koeficient. Z tlakového viriálového rozvoje

$$V_m = \frac{RT}{p} + B \quad (1)$$

dostaneme, že funkce

$$\tilde{B}(p) = V_m - \frac{RT}{p} \quad (2)$$

konverguje pro $p \rightarrow 0$ k druhému viriálovému koeficientu B .

Vyneste proto (pomocí vhodného softwaru, případně na čtverečkovaný papír) závislost $\tilde{B}(p)$, kde V_m v rovnici (2) je $V_m = V/n$. Pak proložte přímkou nebo hladkou křivku danými body a stanovte limitu $\tilde{B}(p \rightarrow 0) = B$. Prokládat můžete od ruky. Uvědomte si, že data jsou zatížena konstantní nejistotou v měření tlaku, ale vzhledem k dělení tlakem je nejistota výrazu (2) větší pro menší tlaky, což zneprůjemňuje extrapolaci. Prokládaná přímka či křivka nemusí procházet přesně všemi body, ale měla by být hladká s tím, že může spíš s nějakou nepřesností minout body pro nízký tlak.

Profesionální možností (nevyžadovanou v této úloze, ale pokud ji zvládnete, dostanete body navíc) je použít metodu nejmenších čtverců a nafitovat $\tilde{B}(p)$ na vhodný vzorec (zde stačí lineární funkce, jindy by mohla být vhodná např. kvadratická funkce). Tím dostanete extrapolovanou $B(0) = B$ včetně odhadu nejistoty. V případě fitování dejte bodům váhu úměrnou kvadrátu tlaku (tj. standardní chyba σ bodu je nepřímo úměrná tlaku). **Příklad fitování v Excelu a LibreOffice.**

Návod – fugacitní koeficient. Pro fugacitní koeficient platí:

$$\ln \varphi = \int_0^p \left(\frac{V_m}{RT} - \frac{1}{p'} \right) dp' = \frac{1}{RT} \int_0^p \tilde{B}(p') dp'. \quad (3)$$

Integrál od 0 do $p =$

p = 17 [bar] spočtete numericky, zde stačí lichoběžníkové pravidlo (jindy by bylo vhodné třeba Simpsonovo pravidlo).

Profesionálně mohou nafitovanou funkci $\tilde{B}(p)$ zintegrovat. Z rov. (3) pak dostanete $\ln \varphi$.

Návod – kompresibilitní faktor. Můžete zinterpolovat (graficky nebo numericky) přímo data z tabulky. Numericky vhodnější je interpolovat $z = pV_m/RT$ v závislosti na p , případně $\tilde{B}(p)$, z něhož z spočtete. Platí $z \approx \varphi$? Proč?