

```
to bar = -40.5
to dm3 = -40.5
to cm3/mol = -40.5
sigp=0.001[bar] = 0.001 [bar]
```

Za teploty

$T=(300+\text{rnd}(78))*1[\text{K}] = 310 [\text{K}]$ 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] = 3.891 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 6365 [cm3/mol] n=V/Vm = 0.3142 [mol] p+sigp*rnd(1) = 3.892 [bar]</pre>	
<pre>p=(0.78+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 8.149 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 2895 [cm3/mol] n=V/Vm = 0.6909 [mol] p+sigp*rnd(1) = 8.147 [bar]</pre>	
<pre>p=(1.18+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 12.1 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 1853 [cm3/mol] n=V/Vm = 1.079 [mol] p+sigp*rnd(1) = 12.1 [bar]</pre>	
<pre>p=(1.58+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 15.88 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 1336 [cm3/mol] n=V/Vm = 1.496 [mol] p+sigp*rnd(1) = 15.87 [bar]</pre>	
<pre>p=(1.98+0.04*rnd(0))*1[MPa] = 19.97 [bar] Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 990 [cm3/mol] n=V/Vm = 2.02 [mol] p+sigp*rnd(1) = 19.97 [bar]</pre>	

Vypočtěte druhý viriálový koeficient B za teploty

$T = 310 [\text{K}]$ a fugacitní koeficient 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?

```
B2=b-a/R/T**1.5 = -253 [cm3/mol]
```

```
Vm=solve Vm=R*T/p RK-p = 1226 [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 = -0.1778
```

```
phi=exp(lnphi) = 0.8371
```

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 ovšem $V_m = V/n$. 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) je použít metodu nejmenších čtverců a nafitovat $\tilde{B}(p)$ na vhodný vzorec (zde stačí lineární funkce, jindy by byla vhodná 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).

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