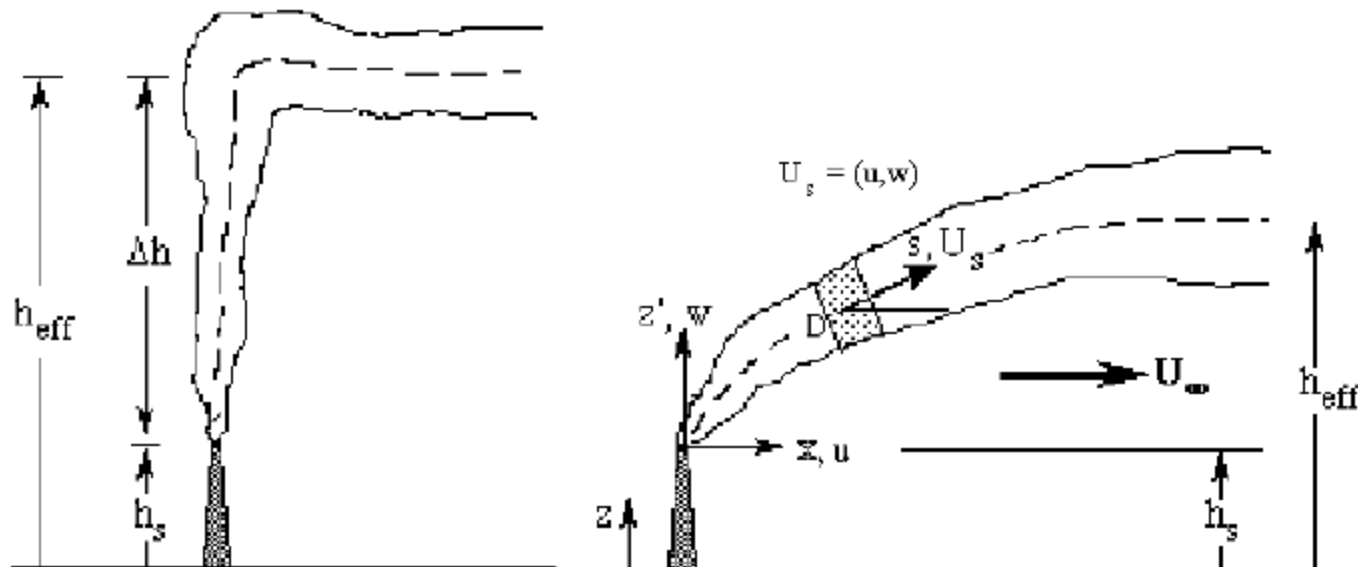


## Ενεργό ύψος εκπομπής

Ύψος που δηλώνει το κέντρο των μεγίστων συγκεντρώσεων ενός θυσάνου πάνω από το έδαφος.

- Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διασποράς ρύπων που εκπέμπονται από μία καμινάδα.
- Διαφέρει από το πραγματικό ύψος της καμινάδας και μπορεί να είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο
- Εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την ταχύτητα εξόδου των ρύπων από την καμινάδα, από την ταχύτητα του ανέμου και από την τοπογραφία.



## ΑΣΚΗΣΗ

Σημειακή πηγή σε αστική περιοχή με ενεργό ύψος  $H=100$  m εκπέμπει  $SO_2$  με ρυθμό  $Q=20$ g/s. Να βρεθούν οι συγκεντρώσεις σε απόσταση  $x=200$  m από την πηγή κατά μήκος του κεντρικού άξονα και στο έδαφος κατά μήκος του διαμήκη άξονα για

- 1) *Αστάθεια:*  $u=2$  m/s,  $\sigma_y=62$  m,  $\sigma_z=44$  m
- 2) *Ουδέτερη:*  $u=2$  m/s,  $\sigma_y=31$  m,  $\sigma_z=27$  m
- 3) *Ευστάθεια:*  $u=2$  m/s,  $\sigma_y=21$  m,  $\sigma_z=14$  m

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

## ΛΥΣΗ

i) *Κατά μήκος του κεντρικού άξονα:*  $y=0$  m,  $z=H$

$$c(x, 0, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \quad (1)$$

ii) *Έδαφος κατά μήκος του διαμήκη άξονα:*  $y=0$  m,  $z=0$  m

$$c(x, 0, 0) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (2)$$

1) *Αστάθεια:  $u=2 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=62 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=44 \text{ m}$*

i) (1)  $\rightarrow c(200\text{m}, 0, 100\text{m}) = \frac{20 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 2\text{ms}^{-1} \cdot 62\text{m} \cdot 44\text{m}} = 5.834 \cdot 10^{-4} \text{gm}^{-3} \Rightarrow$

$$c(200\text{m}, 0, 100\text{m}) = 583.4 \mu\text{g m}^{-3}$$

ii) (2)  $\rightarrow c(200\text{m}, 0, 0) = \frac{20 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 2\text{ms}^{-1} \cdot 62\text{m} \cdot 44\text{m}} \exp\left[-\frac{(100\text{m})^2}{2(44\text{m})^2}\right]$

$$= 583.4 \cdot 10^{-6} \cdot 0.756 \text{gm}^{-3} \Rightarrow c(200\text{m}, 0, 0) \cong 44.1 \mu\text{g m}^{-3}$$

2) *Ουδέτερη:  $u=2 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=31 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=27 \text{ m}$*

i) (1)  $\rightarrow c(200\text{m}, 0, 100\text{m}) = \frac{20 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 2\text{ms}^{-1} \cdot 31\text{m} \cdot 27\text{m}} = 1.9015 \cdot 10^{-3} \text{gm}^{-3} \Rightarrow$

$$c(200\text{m}, 0, 100\text{m}) = 1901.5 \mu\text{g m}^{-3}$$

ii) (2)  $\rightarrow c(200\text{m}, 0, 0) = \frac{20 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 5\text{ms}^{-1} \cdot 31\text{m} \cdot 27\text{m}} \exp\left[-\frac{(100\text{m})^2}{2(27\text{m})^2}\right]$

$$= 1.9015 \cdot 10^{-3} \cdot 0.001 \text{gm}^{-3} \Rightarrow c(200\text{m}, 0, 0) \cong 1.902 \mu\text{g m}^{-3}$$

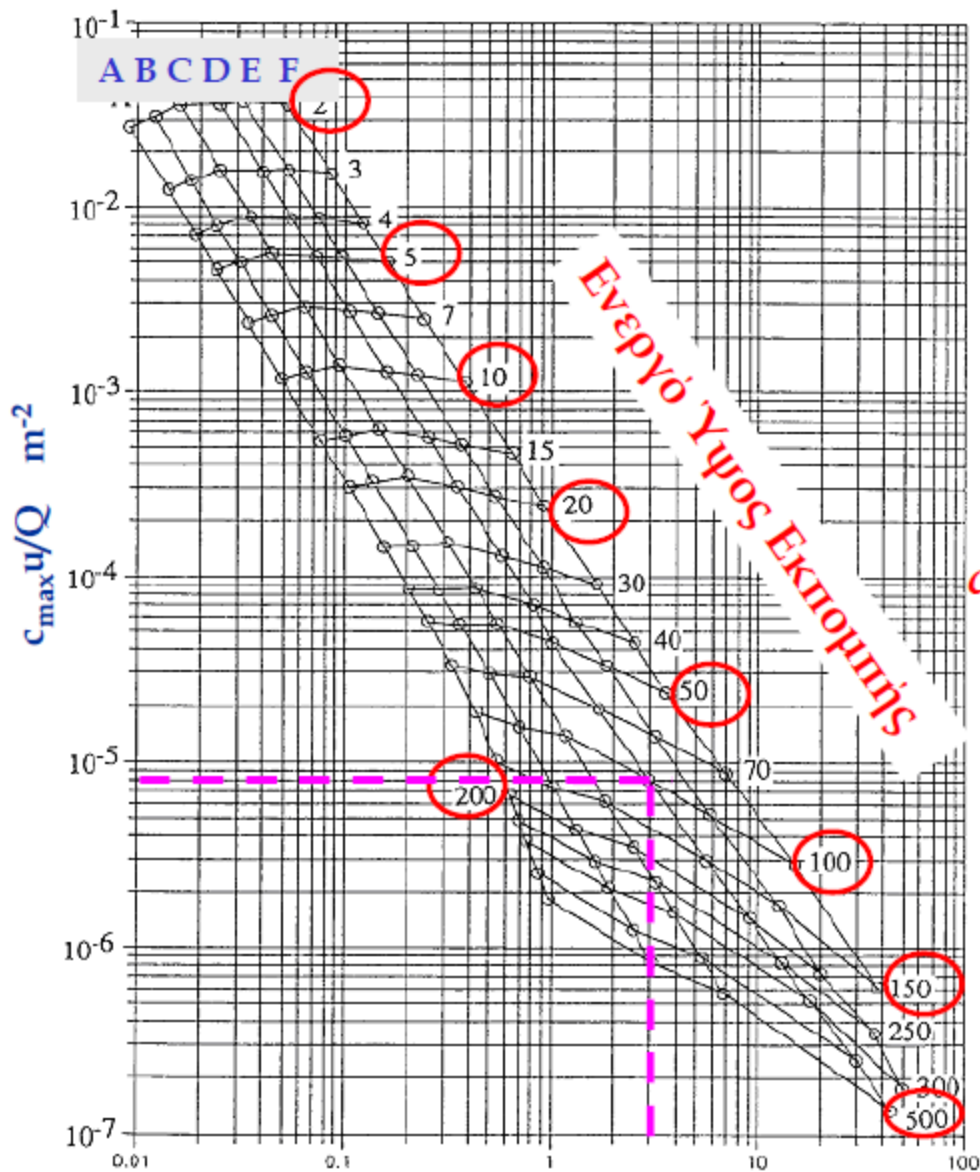
3) *Ευστάθεια:  $u=2 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=21 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=14 \text{ m}$*

*i) (1)  $\rightarrow c(200\text{m}, 0, 100\text{m}) = \frac{20 \text{ gs}^{-1}}{2\pi \cdot 2 \text{ ms}^{-1} \cdot 21 \text{ m} \cdot 14 \text{ m}} = 5.4134 \cdot 10^{-3} \text{ gm}^{-3} \Rightarrow$*

$$c(200\text{m}, 0, 100\text{m}) = 5413.4 \mu\text{g m}^{-3}$$

*ii) (2)  $\rightarrow c(200\text{m}, 0, 0) = \frac{20 \text{ gs}^{-1}}{2\pi \cdot 2 \text{ ms}^{-1} \cdot 21 \text{ m} \cdot 14 \text{ m}} \exp\left[-\frac{(100\text{m})^2}{2(14\text{m})^2}\right]$*

$$= 5.4134 \cdot 10^{-3} \cdot 8.34 \cdot 10^{-12} \text{ gm}^{-3} \Rightarrow c(200\text{m}, 0, 0) \cong 4.5 \cdot 10^{-8} \mu\text{g m}^{-3} \cong 0$$



Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος → Παραγωγή εξίσωσης Gauss ως προς  $x$   
 Δυσκολία λόγω πολύπλοκης εξάρτησης συντελεστών διασποράς από  $x$

Χρήση νομογράμματος

$$c(x, \theta, \theta) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} 2 \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

$$\frac{c_{max} u}{Q} = \frac{\exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]}{\pi\sigma_y\sigma_z}$$

Απόσταση εμφάνισης μέγιστης συγκέντρωσης στο έδαφος (km)

## Παράδειγμα

$$Q=20 \text{ gs}^{-1}, u=5 \text{ ms}^{-1}, H=100 \text{ m KE}=D$$

Τομή D & ενεργού ύψους H

Κάθετη στον άξονα x → Εύρεση απόστασης εμφάνισης μέγιστης συγκέντρωσης

$$(x=3 \text{ km})$$

Κάθετη στον άξονα y → Εύρεση λόγου  $c_{\max}u/Q$

$$(c_{\max}u/Q = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2})$$

$$c_{\max}u/Q = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \rightarrow c_{\max} = Q \cdot u^{-1} \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2}$$

$$c_{\max} = 20 \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{g s}^{-1} \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} / 5 \text{ m s}^{-1} \rightarrow c_{\max} = 32 \text{ } \mu\text{g/m}^{-3}$$

$$u=5 \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{KE: B (έντονη ηλιακή ακτινοβολία)} \quad x_{\max}=0.7 \text{ km}, c_{\max}=60 \text{ } \mu\text{g/m}^{-3}$$

$$\text{KE: C (λίγη ηλιακή ακτινοβολία)} \quad x_{\max}=1.1 \text{ km}, c_{\max}=52 \text{ } \mu\text{g/m}^{-3}$$

$$\text{KE: E (νύχτα, νέφωση <3/8)} \quad x_{\max}=6 \text{ km}, c_{\max}=20.8 \text{ } \mu\text{g/m}^{-3}$$

Ημέρα λίγη ηλιακή ακτινοβολία

Νύχτα με λεπτή νέφωση ή > 4/8

## ΑΣΚΗΣΗ

Μελετήστε αν πρέπει να κτιστεί νοσοκομείο σε αγροτική περιοχή σε απόσταση 2 km από σταθμό παραγωγής ενέργειας με ενεργό ύψος 50 m που εκπέμπει SO<sub>2</sub> με ρυθμό Q=30g/s .

Όριο επιφυλακής για SO<sub>2</sub> = 350 μg/m<sup>3</sup>, ύψος νοσοκομείου z=20 m

Αστάθεια u=2 m/s, σ<sub>y</sub>=402 m, σ<sub>z</sub>=400 m

Ουδέτερη u=5 m/s, σ<sub>y</sub>=146 m, σ<sub>z</sub>=105 m

Ευστάθεια u=2 m/s, σ<sub>y</sub>=73 m, σ<sub>z</sub>=20 m

## ΛΥΣΗ

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο σημείο του νοσοκομείου θα εμφανίζονται όταν το νοσοκομείο βρίσκεται στη διεύθυνση του ανέμου.

Λόγω της κανονικής κατανομής των συγκεντρώσεων των ρύπων, αρκεί να εξεταστεί η περίπτωση για z=20 m (ύψος του νοσοκομείου)

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

$$c(x,0,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (1)$$

1) *Αστάθεια:  $u=2 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=402 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=400 \text{ m}$*

$$(1) \rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) = \frac{30 \text{ gs}^{-1}}{2\pi \cdot 2 \text{ ms}^{-1} \cdot 402 \text{ m} \cdot 400 \text{ m}} \exp\left[-\frac{(50\text{m} - 20\text{m})^2}{2(400\text{m})^2}\right]$$

$$= 1.485 \cdot 10^{-5} \cdot 0.997 \text{ gm}^{-3} \Rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) \cong 14.8 \mu\text{g m}^{-3}$$

2) *Ουδέτερη:  $u=5 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=146 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=105 \text{ m}$*

$$(1) \rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) = \frac{30 \text{ gs}^{-1}}{2\pi \cdot 5 \text{ ms}^{-1} \cdot 146 \text{ m} \cdot 105 \text{ m}} \exp\left[-\frac{(50\text{m} - 20\text{m})^2}{2(105\text{m})^2}\right]$$

$$= 6.229 \cdot 10^{-5} \cdot 0.96 \text{ gm}^{-3} \Rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) \cong 59.8 \mu\text{g m}^{-3}$$

3) *Ευστάθεια:  $u=2 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=73 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=20 \text{ m}$*

$$(1) \rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) = \frac{30 \text{ gs}^{-1}}{2\pi \cdot 2 \text{ ms}^{-1} \cdot 73 \text{ m} \cdot 20 \text{ m}} \exp\left[-\frac{(50\text{m} - 20\text{m})^2}{2(20\text{m})^2}\right]$$

$$= 1.635 \cdot 10^{-3} \cdot 0.325 \text{ gm}^{-3} \Rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) \cong 530.9 \mu\text{g m}^{-3}$$

*Στην περίπτωση ευστάθειας οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από το όριο επιφυλακής. Επομένως δεν πρέπει να κτιστεί το νοσοκομείο.*



## ΑΣΚΗΣΗ

α) Αν σταθμός παραγωγής ενέργειας εκπέμπει  $\text{SO}_2$  με ρυθμό  $Q=60\text{g/s}$  και με ενεργό ύψος  $100\text{ m}$  να βρεθεί η μέγιστη συγκέντρωση και η απόσταση που εμφανίζεται για τις κλάσεις ευστάθειας B, C, D, E.

β) Σε ποιες περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από το όριο επιφυλακής για το  $\text{SO}_2$  που είναι  $135\text{ ppb}$  (μέσες ωριαίες τιμές);

*Δίνεται ότι η ταχύτητα ανέμου  $u$  στο ύψος της καμινάδας για τις κλάσεις ευστάθειας είναι*

*B:  $u=2\text{ m/s}$ , C:  $u=3\text{ m/s}$ , D:  $u=5\text{ m/s}$ , E:  $u=4\text{ m/s}$*

*Πίεση αέρα:  $P=1013\text{ mb}$ , Θερμοκρασία αέρα:  $\theta=25\text{ }^\circ\text{C}$ , Μοριακό Βάρος  $\text{SO}_2$ :  $MB=64$*

a) 
$$\frac{c_{\max} \cdot u}{Q} = a \Leftrightarrow c_{\max} = \frac{a \cdot Q}{u}$$

i) B:  $u=2$  m/s

$$x_{\max} = 0.7 \text{ km} = 700 \text{ m}$$

$$a = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2}$$

$$c_{\max} = \frac{1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} \cdot 60 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{2 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 450 \mu\text{g m}^{-3}$$

ii) C:  $u=3$  m/s

$$x_{\max} = 1.1 \text{ km} = 1100 \text{ m}$$

$$a = 1.4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2}$$

$$c_{\max} = \frac{1.4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} \cdot 60 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{3 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 280 \mu\text{g m}^{-3}$$

iii) D:  $u=5$  m/s

$$x_{\max} = 3 \text{ km} = 3000 \text{ m}$$

$$a=8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \quad c_{\max} = \frac{8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} 60 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{5 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 96 \mu\text{g m}^{-3}$$

iv) E:  $u=4$  m/s

$$x_{\max} = 6 \text{ km} = 6000 \text{ m}$$

$$a=5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \quad c_{\max} = \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} 60 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{4 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 75 \mu\text{g m}^{-3}$$

b) Αν οι μονάδες πίεσης είναι σε mbar μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση για την εύρεση της συγκέντρωσης κ.β.

$$C^m = C^v \frac{100 \cdot P \cdot MB}{8.314 T}$$

$$C^v = 135 \text{ ppb} = 0.135 \text{ ppm}$$

$$P = 1013 \text{ mbar}$$

$$T = 273 + 15 = 298 \text{ K}$$

$$MB_{\text{SO}_2} = 64$$

$$C^m = 0.135 \frac{100 \cdot 1013 \cdot 64}{8.314 \cdot 298} \Leftrightarrow C^m = 353.3 \mu\text{g m}^{-3}$$

Στην περίπτωση της κλάσης ευστάθειας B οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν το όριο επιφυλακής

$$C^m = \frac{C^V \cdot 100 \cdot P \cdot MB}{8.314 \cdot T}$$

$C^m$ : Συγκέντρωση κ.β.,  $C^V$ : Συγκέντρωση κ.ό.,  $P$ : Πίεση σε mb  
 $MB$ : Μοριακό βάρος ρύπου,  $T$ : Θερμοκρασία σε Κ

**Παράδειγμα:** Το όριο επιφυλακής για μέσες ωριαίες τιμές του  $O_3$  είναι  $180 \mu\text{g m}^{-3}$ . Να μετατραπεί αυτό το όριο σε μονάδες ppm και ppb όταν η πίεση ισούται με 1013 mbar και η θερμοκρασία με  $25^\circ\text{C}$ .

$$MB(O_3) = 48$$

$$P = 1013 \text{ mbar}$$

$$\theta = 25^\circ\text{C}$$

$$T = 273.2 \text{ K} + \theta = 298.2 \text{ K}$$

$$C^V = \frac{C^m \cdot 8.314 \cdot T}{100 \cdot P \cdot MB} = \frac{180 \cdot 8.314 \cdot 298.2}{100 \cdot 1013 \cdot 48} \text{ ppm} = 0.0918 \text{ ppm} = 91.8 \text{ ppb}$$

**Όριο Επιφυλακής:** 0.0918 ppm ή 91.8 ppb

Ρύπος	Μετατροπή από $\mu\text{g m}^{-3}$ σε ppm	Μετατροπή από ppm σε $\mu\text{g m}^{-3}$
	Συντελεστής μετατροπής	Συντελεστής μετατροπής
Οζον ( $\text{O}_3$ )	$0.51 \times 10^{-3}$	1960
Διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ )	$0.53 \times 10^{-3}$	1880
Οξειδίο του αζώτου (NO)	$0.81 \times 10^{-3}$	1230
Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ )	$0.56 \times 10^{-3}$	1800
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	$0.87 \times 10^{-3}$	1150
Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )	$0.38 \times 10^{-3}$	2620
Αμμωνία ( $\text{NH}_3$ )	$1.44 \times 10^{-3}$	695