



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**« Διδακτική της Χημείας, Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες  
και Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη »**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ιστορική αναδόμηση της στοιχειομετρίας και η επίδρασή της  
στα ελληνικά σχολικά εγχειρίδια χημείας δευτεροβάθμιας  
εκπαίδευσης κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα.**

**ΑΛΕΞΑΤΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ  
ΧΗΜΙΚΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ**

**Μάϊος 2023**



## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Ιστορική αναδόμηση της στοιχειομετρίας και η επίδρασή της στα ελληνικά σχολικά εγχειρίδια χημείας δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα.

### **ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ**

Αλεξάτος Χαράλαμπος

**A.M.:** 191101

### **ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:**

Σάλτα Αικατερίνη, Μέλος Ε.ΔΙ.Π.

### **ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Μεθενίτης Κωνσταντίνος, Μέλος Δ.Ε.Π., ΕΚΠΑ

Πασχαλίδου Αικατερίνη, Μέλος Ε.ΔΙ.Π., ΕΚΠΑ

Σάλτα Αικατερίνη, Μέλος Ε.ΔΙ.Π., ΕΚΠΑ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 25/05/2023**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη για μαθητές και πολίτες που μπορούν να παίρνουν αποφάσεις με βάση πραγματικές γνώσεις σημαίνει γνώση του ιστορικού πλαισίου διαμόρφωσης των εννοιών καθώς και της εξέλιξή τους ως αποτέλεσμα της επιστημονικής προόδου. Επομένως, η ανάλυση των σχολικών βιβλίων Χημείας μας παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για το τι διδάσκεται, πώς διδάσκεται και τι προβλήματα μάθησης/κατανόησης μπορούμε να αναμένουμε. Αυτός είναι και ο σκοπός της παρούσας εργασίας για την έννοια της στοιχειομετρίας και των βασικών εννοιών που συνδέονται με αυτή, καθώς η παρουσίασή της στα σχολικά βιβλία δεν έχει μελετηθεί καθόλου παρά την αναμφισβήτητη σημασία της..

Για το σκοπό της παρούσας εργασίας αναλύθηκαν 9 βιβλία Χημείας που χρησιμοποιήθηκαν ως σχολικά εγχειρίδια από το 1940 έως σήμερα με τη χρήση δεκαπέντε (15) κριτηρίων. Από την ανάλυση προέκυψαν ευρήματα σχετικά με την εισαγωγή και τον τρόπο παρουσίασης ή/και χρήσης των όρων στοιχειομετρία, mole, αριθμός Avogadro, ποσότητα ουσίας, σχετική μοριακή μάζα ( $M_r$ ) και «μολαρική μάζα» ( $M$ ).

Από τα ευρήματα της εργασίας προκύπτουν μερικά βασικά συμπεράσματα. Αυτά είναι: 1) Η καθυστερημένη ανταπόκριση του Ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος στην ιστορική αναδόμηση εννοιών και πιο συγκεκριμένα της στοιχειομετρίας, 2) Η θεμελίωση των εννοιών χωρίς ή με ελάχιστες αναφορές στην ιστορική τους εξέλιξη με συνέπεια η νοηματοδότηση των εννοιών να εμφανίζεται ως δεδομένη και αμετάβλητη. 3) Επιστημονικά σφάλματα, σοβαρές ελλείψεις και σύγχυση εννοιών σε πολλά από τα βιβλία.

Με βάση αυτά προτείνεται η παρουσίαση της εξέλιξης των ιδεών στα σχολικά βιβλία, η επιστημονική τεκμηρίωση των εννοιών και η αποφυγή λαθών, η ενίσχυση σε εννοιολογικές ερωτήσεις με αντίστοιχη μείωση των αλγοριθμικών ασκήσεων και η ανανέωση και αντικατάσταση των σχολικών βιβλίων σε σύντομα χρονικά διαστήματα.

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:** Διδακτική της Χημείας

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Στοιχειομετρία, mole, αριθμός Avogadro, ποσότητα ουσίας.



## ABSTRACT

The need for students and citizens who can make decisions based on real knowledge means knowing the historical context of the formation of concepts as well as their evolution as a result of scientific progress. Therefore, the analysis of chemistry textbooks provides us with valuable information about what is taught, how it is taught and what learning/understanding problems we can expect. Thus, this is the purpose of this study related the concept of stoichiometry and the basic concepts associated with it, as its presentation in textbooks has not been studied at all despite its undoubted importance.

For the purpose of this study, 9 Chemistry books that were used as school textbooks from 1940 to today were analyzed using fifteen (15) criteria. Findings regarding the introduction, the presentation and/or the use of the concepts stoichiometry, mole, Avogadro's number, amount of substance, relative molecular mass ( $M_r$ ) and 'molar mass' ( $M$ ) were emerged by the analysis.

Some key conclusions revealed from the findings of the study. These are: 1) The late response of the Greek educational system to the historical reconstruction of concepts and more specifically of stoichiometry's concepts, 2) The foundation of the concepts without or with minimal references to their historical evolution, with the consequence that the meaning of the concepts appears as given and unchanged. 3) Scientific errors, serious deficiencies and confusion of concepts in many of the books.

Based on these findings, the presentation of the evolution of chemical ideas in textbooks, the scientific documentation of concepts and the avoidance of errors, the strengthening of conceptual questions with a corresponding reduction of algorithmic exercises and the renewal and replacement of textbooks in short time intervals are proposed.

**SUBJECT AREA:** Chemistry Education

**KEYWORDS:** Stoichiometry, mole, Avogadro number, amount of substance.





Αφιερωμένο στην  
Ανθούλα και το Διονύση



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που βοήθησαν και στήριξαν την προσπάθειά μου:

Στην επιβλέπουσα Δρ. Κατερίνα Σάλτα μέλος ΕΔΙΠ, για την προτροπή της να παρακολουθήσω το πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διδακτική της Χημείας, Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες και Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη» (ΔιΧηNET-EAA). Την ευχαριστώ επίσης για την υπομονή της και για τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις της, οι οποίες αποτέλεσαν πολύτιμη βοήθεια, στην εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Στον υπεύθυνο του ΔΙΧΗNET-EAA αναπληρωτή καθηγητή Κώστα Μεθενίτη για την ενθάρρυνση και βοήθεια του σε στιγμές που χρειάστηκε.

Στην Δρ Κατερίνα Πασχαλίδου, μέλος ΕΔΙΠ, για τις πολύ χρήσιμες παρατηρήσεις της για την ολοκλήρωση της ερευνητικής εργασίας.

Σε όλους τους διδάσκοντες του μεταπτυχιακού προγράμματος ΔΙΧΗNET-EAA για τις πολύ ενδιαφέρουσες συζητήσεις που είχαμε, και τις γνώσεις που αποκόμισα κατά τη διάρκεια των μαθημάτων.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	13
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	15
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	17
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	19
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	21
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Εισαγωγή.....	23
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ιστορική αναδόμηση της στοιχειομετρίας .....	25
2.1 Τι είναι η στοιχειομετρία;.....	25
2.1.1 Στοιχειομετρία ( <i>stoichiometry</i> ).....	25
2.1.2 Στοιχειομετρική ( <i>stoichiometric</i> ) .....	26
2.1.3 Στοιχειομετρική συγκέντρωση ( <i>stoichiometric concentration</i> ) .....	26
2.1.4 Στοιχειομετρικός αριθμός ( <i>stoichiometric number</i> ).....	27
2.2 Οι νόμοι της Χημείας .....	27
2.3 Mole – Ποσότητα ύλης ή ουσίας.....	31
2.4 Γραμμομοριακή ή μοριακή μάζα ( <i>molar mass</i> ) – μοριακή μάζα ( <i>molecular mass</i> ).....	36
2.5 Προβλήματα και αντιρρήσεις για τον ορισμό της «ποσότητας ουσίας» και του mole.....	40
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Η στοιχειομετρία στη χημική εκπαίδευση.....	43
3.1 Η στοιχειομετρία στα σχολικά εγχειρίδια.....	43
3.2 Δυσκολίες εκπαιδευτικών και μαθητών με τη στοιχειομετρία .....	45
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Σκοπός και Αναγκαιότητα της Έρευνας .....	47
4.1 Ποια είναι η ανάγκη να γίνει αυτή η έρευνα; .....	47

4.2	Γιατί επιλέχθηκε η στοιχειομετρία; .....	49
4.3	Γιατί επιλέχθηκαν τα σχολικά εγχειρίδια; .....	50
<b>5</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ Μεθοδολογία ανάλυσης εγχειριδίων .....</b>	<b>53</b>
5.1	Κριτήρια ανάλυσης Σχολικών Εγχειριδίων .....	53
5.2	Το δείγμα .....	54
<b>6</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ Αποτελέσματα .....</b>	<b>65</b>
6.1	Αναφορά στους Νόμους της Χημείας .....	68
6.2	Αναφορά σε μεγέθη, μονάδες και σταθερές .....	73
6.3	Ορισμός του mole .....	74
6.4	Διάκριση ανάμεσα στη σχετική μοριακή μάζα ( $M_r$ ) και στη «μολαρική μάζα» ( $M$ ) .....	75
6.5	Παρουσίαση της στοιχειομετρίας .....	78
<b>7</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ Συμπεράσματα - Προτάσεις .....</b>	<b>81</b>
	<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ .....</b>	<b>87</b>
	<b>ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ .....</b>	<b>89</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>91</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I Κριτήρια και κωδικοποίηση .....</b>	<b>91</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II Βιβλία που αναλύθηκαν .....</b>	<b>93</b>
	<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>95</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Αναφορά στους νόμους της Χημείας .....	68
Σχήμα 2 Αναφορά σε μεγέθη, μονάδες και σταθερές .....	73
Σχήμα 3 Διάφοροι ορισμοί του mole .....	74
Σχήμα 4 Αναφορά στη σχετική μοριακή μάζα ( $M_r$ ) και στη «μολαρική μάζα» ( $M$ ).....	76
Σχήμα 5 Τύποι που χρησιμοποιούνται στα λυμένα παραδείγματα .....	76
Σχήμα 6 Παρουσίαση της στοιχειομετρίας .....	78





## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Σύνδεση ατομικού και μακροσκοπικού επιπέδου <sup>18</sup> (Fang et al., 2014).....	38
Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση $0,9963 \times 10^{-5}$ amole ιόντων $\text{Na}^+$ σε υδατικό διάλυμα $\text{NaCl}$ . <sup>21</sup> .....	41
Εικόνα 3 Λεονταρίτης Δ. Χημεία διά την Ε τάξιν των Γυμνασίων, ΟΕΣΒ, 1952 .....	55
Εικόνα 4 Λιώκης Λ. Στοιχεία Ανοργάνου διά την Ε τάξιν των Γυμνασίων, ΟΕΣΒ, 1962 .	56
Εικόνα 5 Λιώκης Λ. ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΕΙΑ Α και Β ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 1978.....	57
Εικόνα 6 Σακελλαρίδης Π. ΧΗΜΕΙΑ Α ΤΑΞΗ ΛΥΚΕΙΟΥ, Ίδρυμα Ευγενίδου, 1990 .....	58
Εικόνα 7 Μαυρόπουλος Μ., Καπετάνου-Ζαμπετάκη Ε., Γανωτόπουλος Τ., Προβής Ν., ΧΗΜΕΙΑ Α Ε.Π.Λ., ΟΕΔΒ, 1989 .....	59
Εικόνα 8 Μαυρόπουλος Α., Καπετάνου Ε., Χημεία Α ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 1998 .....	60
Εικόνα 9 Κεφαλλωνίτης, Ι., Μανουσάκης Γ., Χρηστίδης Β., ΧΗΜΕΙΑ Α ΤΑΞΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΟΕΔΒ, 2000 .....	61
Εικόνα 10 Τσίπης Κ., Βάρβογλης Α., Γιούρη-Τσοχατζή Α., Δερπάνης Δ., Παλαμιτζόγλου Π., Παπαγεωργίου Γ., Χημεία Α Ενιαίου Λυκείου, ΟΕΔΒ, 2000.....	62
Εικόνα 11 Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Κάλλης Α., Χημεία Α ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 2023.....	63
Εικόνα 12 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥ ΧΗΜΕΙΑΣ Ε ΓΥΜΝ Λ. ΛΙΩΚΗ 1962 σελ. 14-15....	70
Εικόνα 13 ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΕΙΑ Α-Β ΛΥΚΕΙΟΥ Λ. ΛΙΩΚΗΣ 1978 σελ. 15.....	71
Εικόνα 14 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥ ΧΗΜΕΙΑΣ Ε ΓΥΜΝ Λ. ΛΙΩΚΗΣ 1962 σελ. 16 .....	72
Εικόνα 15 ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚ. Μανουσάκης κλπ. 2000 σελ. 114.....	77
Εικόνα 16 Χημεία Α ΛΥΚ Τσίπης και συνεργάτες, 2000, σελ. 16 .....	77
Εικόνα 17 ΧΗΜΕΙΑ Α ΕΝ ΛΥΚ Μανουσάκης και συνεργάτες, 2000, σελ. 126 .....	79
Εικόνα 18 Ερώτημα Δ3 των θεμάτων Χημείας για τις Πανελλήνιες Εξετάσεις του 2020.	84



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 <i>Ισοδυναμίες μονάδων για τη μονάδα ατομικής μάζας <math>u</math> ή <math>Da</math></i> .....	37
Πίνακας 2 <i>Αποτελέσματα ανάλυσης των σχολικών βιβλίων</i> .....	65
Πίνακας 3: Πίνακας ορολογίας με τις αντιστοιχίσεις των ελληνικών και ξενόγλωσσων όρων .....	87



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ιδέα της διπλωματικής εργασίας γεννήθηκε μέσα από συζητήσεις με τη διδάσκουσα του μεταπτυχιακού προγράμματος και μετέπειτα επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, Κατερίνα Σάλτα. Η εμπειρία της σχολικής τάξης για πολλά χρόνια, και η γνώση των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην κατανόηση των δυσκολιών της στοιχειομετρίας αλλά και οι εκπαιδευτικοί, στη διδασκαλία των αντίστοιχων εννοιών αποτέλεσε το κίνητρο για τη διεξαγωγή της έρευνας αυτής.

Στην πορεία της εργασίας παρουσιάστηκαν αρκετές δυσκολίες. Η πρώτη ήταν η ανεύρεση όλων των σχολικών βιβλίων χημείας που χρησιμοποιήθηκαν από το 1940 μέχρι σήμερα στη Δ-Ε γυμνασίου και στην Α λυκείου. Μερικά από αυτά, βρέθηκαν με αρκετό κόπο σε παλαιοπωλεία. Η πανδημία του κορονοϊού ήταν μια επιπλέον δυσκολία που παρουσιάστηκε στη συνέχεια. Τέλος αποδείχτηκε δύσκολος ο συνδυασμός των καθηκόντων του διευθυντή λυκείου με την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου που απαιτήθηκε για τη συγγραφή της εργασίας.

Σε όλο αυτό το διάστημα ήταν πάντα δίπλα μου η επιβλέπουσα Κατερίνα Σάλτα με συμβουλές και παρατηρήσεις αλλά και ενθαρρύνοντάς με για την ολοκλήρωση της εργασίας σε στιγμές που έδειχνε να προχωρά δύσκολα.

Τελικά παρά τις δυσκολίες η διπλωματική εργασία ήταν για μένα μια πολύ ενδιαφέρουσα «περιπέτεια» που ελπίζω να φανεί χρήσιμη.



## 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Εισαγωγή

Υπάρχουν αρκετά θέματα στη σχολική ύλη της Χημείας τα οποία δυσκολεύουν ιδιαίτερα τους μαθητές ως προς την κατανόησή τους και τους εκπαιδευτικούς ως προς τη διδασκαλία τους. Ιδιαίτερη θέση ανάμεσα σε αυτά έχει η στοιχειομετρία και οι έννοιες με τις οποίες σχετίζεται. Η εμπειρία της τάξης αλλά και πολλές έρευνες δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλη σύγχυση για έννοιες όπως «ποσότητα ύλης», «mole», «αριθμός Avogadro», «γραμμομοριακή μάζα» και άλλα. Οι δυσκολίες αυτές σε ένα τους μέρος εδράζονται στο ελλιπές γνωστικό υπόβαθρο των μαθητών της Α λυκείου που είναι η τάξη στην οποία θεμελιώνονται οι βασικές έννοιες της στοιχειομετρίας, αλλά και σε αντίστοιχες γνωστικές αδυναμίες των εκπαιδευτικών.

Ταυτόχρονα καθοριστικό ρόλο έχουν τα σχολικά βιβλία τα οποία αποτελούν το βασικό διδακτικό εργαλείο του εκπαιδευτικού παρά την ολοένα πιο εκτεταμένη χρήση άλλων πηγών, κυρίως ηλεκτρονικών. Τα Ελληνικά σχολικά βιβλία εμφανίζουν σοβαρές αδυναμίες στη μορφή και στο περιεχόμενο. Αρκετά περιέχουν επιστημονικές ανακρίβειες και ασάφειες που δυσκολεύουν περισσότερο, αντί να βοηθούν, μαθητές και εκπαιδευτικούς. Ένα επιπλέον στοιχείο είναι η αργοπορημένη και ίσως όχι πλήρης, ενσωμάτωση νέων δεδομένων και αναδομημένων εννοιών στα σχολικά βιβλία επειδή αυτά ανανεώνονται μετά από πολλά χρόνια κυκλοφορίας. Ενδεικτικό είναι ότι τα βιβλία χημείας που χρησιμοποιούνται σε όλες τις τάξεις του λυκείου δεν έχουν αλλάξει καθόλου από το 2000.

Η γνώση των ιστορικών γεγονότων που οδήγησαν στην εξέλιξη θεμελιωδών εννοιών της χημείας και ιδιαίτερα του αντικειμένου αυτής της μελέτης της στοιχειομετρίας, θεωρούμε ότι θα βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς στην καθημερινή τους διδασκαλία και τους μαθητές να κατανοήσουν ουσιαστικά, δυσνόητες και αφηρημένες έννοιες.





## 2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ιστορική αναδόμηση της στοιχειομετρίας

Η θεμελίωση των επιστημονικών εννοιών και οι αλλαγές στη νοηματοδότησή τους όπως προκύπτουν με την πάροδο του χρόνου, συμβαίνουν μέσα σε ένα συγκεκριμένο ιστορικό και επιστημονικό πλαίσιο, τα οποία εν πολλοίς καθορίζουν την έκταση των αλλαγών αλλά και τη συσχέτιση ή διαφοροποίηση των εννοιών με άλλες έννοιες. Οι επιστημολόγοι συμφωνούν ότι οι θεωρίες και οι έννοιες υφίστανται ιστορικές αλλαγές που μερικές φορές μπορούν να είναι βαθμιαίες<sup>1</sup> και μερικές φορές πιο ριζοσπαστικές. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, θεωρείται αδύνατο να συγκριθεί η νέα έννοια με την παλιά<sup>2</sup>.

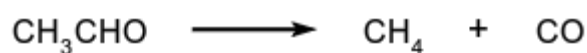
### 2.1 Τι είναι η στοιχειομετρία;

Στο Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book") της IUPAC<sup>3</sup> εκτός από τον όρο στοιχειομετρία (stoichiometry), ορίζονται και οι όροι στοιχειομετρική (stoichiometric), στοιχειομετρική συγκέντρωση και στοιχειομετρικός αριθμός όπως παρακάτω.

#### 2.1.1 Στοιχειομετρία (stoichiometry)

Ο όρος αναφέρεται στη σχέση μεταξύ των ποσοτήτων των ουσιών που αντιδρούν μαζί σε μια συγκεκριμένη χημική αντίδραση και των ποσοτήτων των προϊόντων που σχηματίζονται. Η γενική στοιχειομετρική εξίσωση:  $aA + bB + \dots \rightarrow \dots + yY + zZ$ , παρέχει την πληροφορία ότι  $a$  mol του A αντιδρούν με  $b$  mol του B για να παραχθούν  $y$  mol του Y και  $z$  mol του Z.

Η στοιχειομετρία μιας αντίδρασης μπορεί να είναι άγνωστη ή μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη. Για παράδειγμα, η θερμική διάσπαση της ακεταλδεϋδης παράγει κυρίως μεθάνιο και μονοξείδιο του άνθρακα, αλλά και μια ποικιλία δευτερευόντων προϊόντων όπως αιθάνιο, ακετόνη και διακετύλιο. Η στοιχειομετρική εξίσωση:



είναι επομένως μόνο κατά προσέγγιση. Ακόμα και όταν η συνολική στοιχειομετρία μιας αντίδρασης είναι καλά καθορισμένη, μπορεί να εξαρτάται από το χρόνο, δεδομένου ότι μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια μιας αντίδρασης. Έτσι, εάν μια αντίδραση πραγματοποιείται με τον μηχανισμό  $A \rightarrow X \rightarrow Y$ , και το  $X$  σχηματίζεται σε σημαντικές ποσότητες κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, η σχέση μεταξύ των ποσοτήτων του  $A$ , του  $X$  και του  $Y$  θα μεταβάλλεται με τον χρόνο, και καμία στοιχειομετρική εξίσωση δεν μπορεί να αντιπροσωπεύει την αντίδραση ανά πάσα στιγμή.<sup>3</sup>

### 2.1.2 Στοιχειομετρική (stoichiometric)

Περιλαμβάνει χημικό συνδυασμό σε απλές ολοκληρωτικές αναλογίες. Χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι δεν υπάρχει περίσσεια αντιδρώντων ή προϊόντων σε σχέση με εκείνη που απαιτείται για την ικανοποίηση της ισορροπημένης χημικής εξίσωσης που αντιπροσωπεύει τη δεδομένη χημική αντίδραση.<sup>3</sup>

### 2.1.3 Στοιχειομετρική συγκέντρωση (stoichiometric concentration)

Η στοιχειομετρική συγκέντρωση,  $C_B$ , ενός συστατικού  $B$  σε ένα σύστημα δίνεται από την έκφραση:

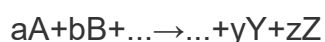
$$C_B = n_B / V$$

όπου  $n_B$  είναι η στοιχειομετρική ποσότητα της ουσίας του συστατικού  $B$  στο σύστημα και  $V$  είναι ο όγκος του συστήματος. Το συστατικό που προστίθεται στο σύστημα μπορεί να διαχωριστεί ή να αντιδράσει με άλλα συστατικά για να σχηματίσει μια σειρά παράγωγων συστατικών και μόνο ένα κλάσμα του αρχικού συστατικού μπορεί να υπάρχει στην πραγματικότητα σε ελεύθερη μορφή στο σύστημα. Συνεπώς, είναι σημαντικό να γίνεται διάκριση μεταξύ της στοιχειομετρικής συγκέντρωσης και της συγκέντρωσης της ποσότητας της ουσίας της ελεύθερης μορφής του συστατικού στο σύστημα. Μερικές φορές οι στοιχειομετρικές ποσότητες υποδεικνύονται με έναν δείκτη (ο), π.χ.  $n_o(B)$ ,  $C_o(B)$ . Στην κλινική χημεία, ο όρος στοιχειομετρική συγκέντρωση χρησιμοποιείται σπάνια. Αντ' αυτού, η ονομασία του συστατικού τροποποιείται για να υποδηλώσει τη συμπερίληψη των διαφόρων παράγωγων μορφών, π.χ.

τα μείγματα ενός καθορισμένου χημικού συστατικού και των παραγώγων του μπορούν να δηλωθούν με τον πληθυντικό αριθμό της ονομασίας της καθαρής αμετάβλητης ουσίας, ή για να υποδηλωθεί το άθροισμα των συστατικών που προσδιορίζονται σε μεμονωμένες ποσότητες μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προδιαγραφή "σύνολο".<sup>3</sup>

#### 2.1.4 Στοιχειομετρικός αριθμός (stoichiometric number)

Μια χημική αντίδραση γνωστής στοιχειομετρίας μπορεί να γραφεί γενικά ως εξής:



Για τα προϊόντα της αντίδρασης Y και Z οι αριθμοί y και z είναι γνωστοί ως στοιχειομετρικοί αριθμοί,  $\nu_Y$  και  $\nu_Z$ , για τα Y και Z αντίστοιχα. Για τα αντιδρώντα οι στοιχειομετρικοί αριθμοί είναι οι αρνητικοί των αριθμών που εμφανίζονται στην εξίσωση- για παράδειγμα, ο στοιχειομετρικός αριθμός  $\nu_A$  για το αντιδρών A είναι  $-a$ . Με άλλα λόγια, οι στοιχειομετρικοί αριθμοί είναι θετικοί για τα προϊόντα και αρνητικοί για τα αντιδρώντα.<sup>3</sup>

## 2.2 Οι νόμοι της Χημείας

Όταν η χημεία μετατράπηκε σε επιστήμη, προς τα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα, άρχισε να μελετά τις μετατροπές των ουσιών σε άλλες ποιοτικά αλλά και τις αναλογίες μαζών των ουσιών που συνδυάζονται ώστε να προκύψουν νέα προϊόντα.

Ο Antoine Lavoisier (1743- 1794) ο οποίος θεωρείται ο πατέρας της υπολογιστικής χημείας, υπήρξε ο πρώτος που διατύπωσε το 1773 την «αρχή της αφθαρσίας της ύλης» σύμφωνα με την οποία, σε κάθε χημική αντίδραση *το βάρος των αντιδρώντων σωμάτων είναι πάντα ίσο με το βάρος των προϊόντων.*

Ο Γάλλος χημικός Joseph Louis Proust (1754-1826), το 1799 διατύπωσε, δίνοντας και σχετικές πειραματικές επαληθεύσεις, το νόμο των σταθερών αναλογιών ο οποίος λέει ότι *οι χημικές ενώσεις αποτελούνται από σταθερές αναλογίες μαζών των συστατικών τους στοιχείων, ανεξάρτητα από τον τρόπο παρασκευής τους.*

Την ίδια εποχή ένας άλλος Γάλλος χημικός ο Claude Berthollet (1748-1822) αντιπάχθηκε σθεναρά στις ιδέες του Proust υποστηρίζοντας ότι δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ χημικών ενώσεων και διαλυμάτων. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι χημικές ενώσεις δεν έχουν σταθερή σύσταση, αλλά η αναλογία των συστατικών τους μπορεί να κυμαίνεται ανάμεσα σε ορισμένα όρια. Ακολούθησε μια οκταετής διαμάχη μεταξύ Proust και Berthollet, η οποία έληξε με τη σταθερή τήρηση του νόμου των καθορισμένων αναλογιών<sup>4</sup>.

Ο Dalton (1803), διατύπωσε το νόμο των πολλαπλών αναλογιών, σύμφωνα με τον οποίο, *τα βάρη με τα οποία δύο στοιχεία ενώνονται μεταξύ τους για το σχηματισμό μιας ή περισσοτέρων ενώσεων, είναι ίσα ή ακέραια πολλαπλάσια των βαρών με τα οποία αυτά τα στοιχεία ενώνονται με το ίδιο βάρος τρίτου στοιχείου.*

Ο Gay-Lussac (1808) πειραματιζόμενος με την αντίδραση σύνθεσης  $H_2O$  από  $O_2$  και  $H_2$  διαπίστωσε ότι το  $O_2$  και το  $H_2$  αντιδρούν με σταθερές αναλογίες όγκων. Η διαπίστωση αυτή γενικεύτηκε για τις αντιδράσεις όλων των αερίων σε σταθερή θερμοκρασία και καθιερώθηκε ως νόμος του Gay-Lussac του συνδυασμού των όγκων αερίων, ο οποίος ορίζει ότι: «Οι όγκοι των αερίων που αντιδρούν μεταξύ τους ή παράγονται σε μια χημική αντίδραση βρίσκονται σε αναλογίες μικρών ακεραίων αριθμών σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας».<sup>5</sup>

Το 1808 ο John Dalton επαναδιατυπώνει την ατομική θεωρία την οποία είχε πρωτοδιατυπώσει ο Δημόκριτος αιώνες πριν. Η ατομική θεωρία αντιμετώπισε τις χημικές αντιδράσεις ως συνδυασμούς αμετάβλητων οντοτήτων, των ατόμων. Τα βασικά σημεία της ατομικής θεωρίας του Dalton ήταν:

1. Η ύλη σχηματίζεται από άτομα.
2. Τα άτομα είναι αδιαίρετα και δεν μπορούν να δημιουργηθούν ή να καταστραφούν.
3. Όλα τα άτομα ή τα "σύνθετα άτομα" μιας καθαρής ουσίας είναι πανομοιότυπα και οι μάζες τους είναι επίσης πανομοιότυπες.

4. Τα άτομα διαφορετικών στοιχείων έχουν διαφορετικές μάζες.
5. Ένα σύνθετο άτομο -το μικρότερο σωματίδιο μιας ένωσης- σχηματίζεται από ένα σταθερό αριθμό ατόμων των στοιχείων που το αποτελούν.
6. Η μάζα του σύνθετου ατόμου είναι το άθροισμα των μαζών των ατόμων που το σχηματίζουν
7. Όταν δύο στοιχεία ενώνονται για να σχηματίσουν περισσότερες από μία ενώσεις με διαφορετικές αναλογίες (όπως όπως: 2:1 και 3:2), ενώνονται μεταξύ τους με σχέση απλών ακέραιων αριθμών (υπόθεση πολλαπλών αναλογιών).
8. Η ατομική μάζα κάθε στοιχείου σε όλες τις ενώσεις του είναι η ίδια. Η αναλογία βαρών, των στοιχείων A,B σε οποιασδήποτε ένωση που σχηματίζεται από δύο στοιχεία A και B μπορεί να προκύψει από την αναλογία με την οποία κάθε στοιχείο ενώνεται με ίδιο βάρος τρίτου στοιχείου Γ (νόμος των πολλαπλών αναλογιών).
9. Αν είναι γνωστή μία μόνο ένωση που σχηματίζεται από δύο είδη ατόμων A και B, θα είναι το σύνθετο άτομο AB (εκτός αν αποδειχθεί διαφορετικά). Εάν σχηματίζονται περισσότερες από μία ενώσεις, αυτές θα είναι AB, A<sub>2</sub>B, AB<sub>2</sub> κ.ο.κ.<sup>6</sup>

Ο Amadeo Avogadro (1778 – 1856) διατύπωσε το 1811, δύο υποθέσεις. Η πρώτη υπόθεσή λέει ότι «ίσοι όγκοι αερίων στις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, περιέχουν τον ίδιο αριθμό μορίων». Η δεύτερη υπόθεση προέβλεπε την ύπαρξη μορίων που αποτελούνται από άτομα του ίδιου στοιχείου. Η δεύτερη υπόθεση του Avogadro ήταν αδιανόητη με τα δεδομένα εκείνης της εποχής και γι αυτό συνάντησε μεγάλες αντιδράσεις. Τότε οι χημικοί πίστευαν ότι μόνο η ένωση διαφορετικών ατόμων είναι δυνατή επειδή έλκονταν λόγω των αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων που είχαν, σύμφωνα με την ηλεκτροχημική θεωρία του Berzelius.

Αρκετοί καταξιωμένοι φυσικοί και χημικοί απέρριπταν την ατομική θεωρία ακόμη και στις αρχές του 20ου αιώνα μεταξύ αυτών ήταν Ερνστ Μαχ (Ernst Mach), ο Βίλχελμ Όστβαλντ (Wilhelm Ostwald) και ο Γκεόργκ Χελμ

(Georg Helm). Οι οπαδοί αυτής της σχολής θεωρούσαν ότι η ατομική θεωρία θα έπρεπε να θεωρηθεί ως μια απλή υπόθεση, η οποία ήταν αναγκαστικά μη επαληθεύσιμη από άμεσο πείραμα, και, ως εκ τούτου, δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιείται ως βάση εξήγησης της χημείας. (Η ατομική θεωρία επικράτησε οριστικά όταν ο Αϊνστάιν (Einstein) και ο Σμολουκόφσκι (Smoluchowski) δημοσίευσαν την ερμηνεία τους για την “κίνηση Μπράουν” το 1905 – 1906.

Για ένα διάστημα αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα δύο αντικρουόμενα παραδείγματα, το ισοδύναμο και το ατομιστικό. Οι Padilla και Furio-Mas (2008) σημειώνουν, «ότι είναι σκόπιμο να διευκρινίσουμε ορισμένες διαφορές μεταξύ των εν λόγω δύο μεγάλων παραδειγμάτων. Το ισοδύναμο παράδειγμα ανήκε σε μια παράδοση της θεωρίας της ύλης (συνεχής) που δεν πίστευε στη θεμελιώδη ύπαρξη των μικρότερων σωματιδίων (ατόμων). Το ατομιστικό παράδειγμα ανήκε σε μια παράδοση της θεωρίας της ύλης (ασυνεχής) που υποστήριζε ότι την ύπαρξη διακριτών ατόμων και μορίων. Οι διαφορές των παραδειγμάτων σχετίζονταν με την κοσμοθεωρία του κάθε επιστήμονα και τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονταν τη φύση της ύλης (Moreno 2006). Αυτά τα παραδείγματα ήταν ασυμβίβαστα με τους όρους του Kuhn<sup>2</sup>»<sup>6</sup>

Ταυτόχρονα, αρχίζει να γίνεται με σαφήνεια ο διαχωρισμός μεταξύ της έννοιας του μορίου και της έννοιας του ατόμου. Έτσι προκύπτει η αναγκαιότητα για τον ποσοτικό προσδιορισμό ενός μακροσκοπικού μεγέθους που θα δείχνει πόσα στοιχειώδη σωματίδια περιέχονται σε μία «ποσότητα ουσίας». Ο Gorin (1994) αναφέρει ότι ο πρώτος που εισάγει την έννοια του mol ως μονάδα μέτρησης της «ποσότητας μίας ουσίας» είναι ο Wilhelm Ostwald που το 1900 αναφέρει: [. . . das in Grammen ausgedruckte [. . .] Molekulargewicht eines Stoffes soll fortan ein Mol heissen] (Το αναγόμενο σε γραμμάρια μοριακό βάρος θα ονομάζεται Mol από εδώ και πέρα). Ο ίδιος αργότερα συνδέει το mol και με τον γραμμομοριακό όγκο του ιδανικού αερίου σε συνθήκες STP: [eine solche Menge irgendeines Gases, welche das Volum von 22412 ccm im Normalzustand einnimmt nennt man ein Mol] (μία τέτοια ποσότητα ιδανικού αερίου που καταλαμβάνει όγκο 22.412 cm<sup>3</sup> σε κανονικές συνθήκες θα ονομάζεται ένα mol).<sup>7</sup>

### 2.3 Mole – Ποσότητα ύλης ή ουσίας

Οι έννοιες «ποσότητα ύλης ή ουσίας» και η μονάδα μέτρησής της το mole ή mol, κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους με διαφορετικές επιστημονικές διαμάχες στην επικαιρότητα. Έτσι προέκυψε ένα παράδοξο. Η εισαγωγή της μονάδας «mole» έγινε από τον Ostwald το 1900 και προηγήθηκε από την εισαγωγή της έννοιας «ποσότητα ουσίας» που έγινε το 1961. Η νοηματοδότηση του mole ήταν βέβαια αρχικά και για πολλά χρόνια τελείως διαφορετική από αυτή που ισχύει σήμερα.<sup>8</sup>

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η έννοια «ποσότητα ουσίας» εμφανίζεται σε θερμοδυναμικές σχέσεις (π.χ. καταστατική εξίσωση των αερίων) και σε στοιχειομετρικές σχέσεις μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων σε μια χημική αντίδραση. Η χρήση της «ποσότητας ουσίας» με τη θερμοδυναμική της έννοια εντοπίζεται πρώτη φορά στις εργασίες του Boyle το 17<sup>ο</sup> αι. ενώ η ανάπτυξη της κατανόησης της στοιχειομετρίας χρονολογείται από το έργο του Lavoisier εκατό χρόνια αργότερα.<sup>9</sup>

Η «ποσότητα ουσίας», με όποια έννοια και αν χρησιμοποιηθεί, ουσιαστικά «μετρά» έναν αριθμό οντοτήτων και τον συνδέει με τη μάζα της ουσίας. Το υπόβαθρο για αυτή τη σύνδεση μπορεί να εντοπιστεί σε δύο εξελίξεις που συνέβησαν στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Η πρώτη είναι η διατύπωση της ατομικής θεωρίας του Dalton και η δεύτερη εξέλιξη είναι η διατύπωση της υπόθεσης του Avogadro η οποία λέει ότι ίσοι όγκοι αερίων στις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας περιέχουν τον ίδιο αριθμό μορίων.<sup>9</sup>

Ο Ostwald εισάγει τον όρο mol (moles: μεγάλη μάζα) σε διαφοροποίηση με την έννοια «gram-molecule» που χρησιμοποιείται στην εποχή του καθώς η λέξη «molecule» προϋποθέτει ότι πρόκειται για μικρή μάζα. Ο Ostwald εισήγαγε επίσης τον όρο «ποσότητα ουσίας» στα βιβλία του αλλά πάντα αυτή αναφερόταν σε μάζες ή αναλογίες μαζών.<sup>8</sup>

Ο Sarikaya (2013) όμως θεωρεί ότι η έννοια του mole εισήχθη στη χημεία νωρίτερα από τον αριθμό του Avogadro, από το Γερμανό χημικό August Horstmann με τον όρο “γραμμομοριακό βάρος» το 1881, πριν τον

Ostwald όπως ευρέως αναφέρεται στην βιβλιογραφία.<sup>10</sup> Επίσης στο ίδιο άρθρο, ο Sarikaya (2013) θεωρεί ότι ο αριθμός του Avogadro υπολογίστηκε πρώτη φορά από τους Loschmidt και Than το 1889 και η αρχική του τιμή ήταν  $4,099 \cdot 10^{22}$  μόρια/γραμμομόριο.<sup>10</sup> Ο αριθμός αυτός προέκυψε πολλαπλασιάζοντας τα  $1,839 \cdot 10^{18}$  μόρια/cm<sup>3</sup> που είχε υπολογίσει το 1865 ο Loschmidt, με τον γραμμομοριακό όγκο τον οποίο ο Karoly Than είχε υπολογίσει το 1889 σε 22.330 cm<sup>3</sup> σε Κ.Σ. Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει σαφής διάκριση ανάμεσα στον αριθμό του Avogadro και τη σταθερά ή αριθμό του Loschmidt. Ο αριθμός του Loschmidt είναι ο αριθμός μορίων σε 1 cm<sup>3</sup> ενός αερίου με αποδεκτή σημερινή τιμή  $2.686\,780\,111... \times 10^{25}$  m<sup>-3</sup>. Ο αριθμός Avogadro είναι ο αριθμός των μορίων σε 22.414 cm<sup>3</sup> ενός αερίου σε Κ.Σ. και η αποδεκτή τιμή του με τα τελευταία πειραματικά δεδομένα είναι  $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>.<sup>11</sup>

Δεν υπάρχει σαφής γνώση για το ποιος και πότε υπολόγισε το γραμμομοριακό όγκο των αερίων σε Κ.Σ. ίσο με 22,414 L/mol. Από κάποιους ερευνητές αναφέρεται ότι αυτός που μέτρησε πρώτος το γραμμομοριακό όγκο των αερίων ήταν ο Ιταλός χημικός S. Cannizzaro (Wisniak 2000) και από άλλους ότι αυτό έγινε από τον επίσης Ιταλό χημικό A. Avogadro (Glandney 1999).<sup>10</sup>

Το 1860 στη Γερμανική πόλη Καρλσρούη, πραγματοποιήθηκε το 1<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο Χημείας. Συζητήθηκε η ανάγκη για σαφή διάκριση των εννοιών, άτομο, μόριο και ισοδύναμο με σαφείς ορισμούς για το καθένα. Το συνέδριο, με την καθοριστική συμβολή του Cannizzaro, ο οποίος στην παρέμβασή του υπεράσπισε την «υπόθεση του Avogadro», καθιέρωσε ένα σταθερό σύστημα ατομικών βαρών με βάση το άτομο του υδρογόνου. Έγινε επίσης η διάκριση μεταξύ μοριακού και ατομικού βάρους. Στο σύστημα ατομικών και μοριακών βαρών που υιοθέτησε το συνέδριο της Καρλσρούης, βασίστηκε αργότερα ο αρχικός ορισμός του γραμμομορίου (mole). Επιπλέον οι χημικές ενώσεις ταξινομήθηκαν ως «τέλειες» (αυτές που έχουν σταθερή σύσταση με βάση το νόμο των απλών αναλογιών του Proust) και «ατελείς» (αυτές που έχουν μεταβλητή σύσταση και ονομάστηκαν «μπερτολίδες» ή «μπερτολιδικές ενώσεις».<sup>12</sup>



Ο Ostwald το 1900, όρισε το mole ως «την ποσότητα οποιουδήποτε αερίου που καταλαμβάνει έναν όγκο 22,414 mL υπό κανονικές συνθήκες που ονομάζεται ένα mole.» Τα επόμενα χρόνια η ατομική θεωρία επικράτησε παρά τις επιμέρους αντιστάσεις μεταξύ άλλων και του Ostwald. Έτσι τέθηκε στην επιστημονική κοινότητα των χημικών το ζήτημα του υπολογισμού του αριθμού των σωματιδίων που περιέχονται σε ένα mole.

Ταυτόχρονα, παρά την επικράτηση της ατομικής θεωρίας συνεχίζει να χρησιμοποιείται το «ισοδύναμο βάρος» ή «χημικό ισοδύναμο» ή «γραμμοϊσοδύναμο, greq» ως τρόπος μέτρησης της ποσότητας ύλης, σχεδόν μέχρι το τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Σταδιακά όμως, η χρήση του mole επικράτησε πλήρως.

Χημικό ισοδύναμο ή ισοδύναμο βάρος, (X.I. ή eq) ενός στοιχείου λέγεται ο αριθμός που δείχνει πόσα μέρη βάρους (μ.β.) από το στοιχείο ισοδυναμούν χημικά (δηλαδή μπορούν να ενωθούν ή να αντικαταστήσουν) με 8 μ.β οξυγόνου ή 1 μ.β. υδρογόνου ή με ισοδύναμο με αυτά βάρος τρίτου στοιχείου ή ανταλλάσσουν 1 mole ηλεκτρονίων σε μια οξειδοαναγωγική αντίδραση.<sup>13</sup>

Γραμμοϊσοδύναμο (greq) ενός στοιχείου λέγεται η μάζα τόσων γραμμαρίων του στοιχείου όσα είναι το χημικό του ισοδύναμο.

Σε μια χημική αντίδραση ο αριθμός γραμμοϊσοδυνάμων των αντιδρώντων είναι ίσος ανεξάρτητα από τους συντελεστές της αντίδρασης.

Χρησιμοποιείται επίσης η Κανονικότητα (Normality, N) ως τρόπος έκφρασης της περιεκτικότητας ενός διαλύματος. Η κανονικότητα εκφράζει τον αριθμό greq διαλυμένης ουσίας που περιέχονται σε 1 L διαλύματος.

Η χρήση του ισοδύναμου βάρους εγκαταλείφθηκε γιατί η τιμή του ποικίλει για την ίδια ουσία, ανάλογα με την αντίδραση στην οποία συμμετέχει. Έτσι έχει επικρατήσει πλήρως για την έκφραση της ποσότητας ύλης η χρήση του mole.

Ο Γάλλος φυσικός Jean Baptiste Perrin (1870-1942) εισήγαγε την έκφραση «αριθμός του Avogadro» στη χημεία το 1908 και τον υπολόγισε σε

$7,059 \cdot 10^{23}$ . Όπως και ο Ostwald, ο Perrin βάσισε επίσης τον ορισμό του mole στην ποσότητα της ουσίας στον όγκο 22,414 L των αερίων και όρισε τον αριθμό του Avogadro ως τον αριθμό των μορίων στον όγκο ενός γραμμομορίου (δηλαδή 22,414 L) ενός αερίου υπό κανονικές συνθήκες.<sup>10</sup>

Ο ορισμός του mole μέχρι τα μέσα του εικοστού αιώνα διχάζει τους φυσικούς και τους χημικούς. Η διεθνής ένωση φυσικών IUPAP το ορίζει σαν την ποσότητα ατόμων που περιέχονται σε 16 γραμμάρια του ισοτόπου του οξυγόνου-16 ( $^{16}\text{O}$ ) ενώ η διεθνής ένωση χημικών IUPAC το ορίζει σαν την ποσότητα ατόμων που περιέχονται σε 16 γραμμάρια οξυγόνου (σύνηθες μείγμα ισοτόπων). Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών ορισμών είναι βέβαια πολύ μικρή αλλά ικανή να επιφέρει σύγχυση στις αναφορές των πειραματικών μετρήσεων. Το 1957 προτάθηκε η χρήση του ισοτόπου  $^{12}\text{C}$ , για τη μέτρηση των ατομικών μαζών και έγινε αποδεκτή από φυσικούς και χημικούς ως κοινά αποδεκτή λύση.<sup>11</sup>

Το 1961 η Διεθνής Ένωση Καθαρής και Εφαρμοσμένης Φυσικής (IUPAP), συστήνει να χρησιμοποιείται ως θεμελιώδες μέγεθος η «ποσότητα της ουσίας», όπως ορίστηκε από τη Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών (Conférence générale des poids et mesures - CGPM) του 1960. Η συνιστώμενη βασική μονάδα για την ποσότητα ύλης είναι το γραμμομόριο (mole), σύμβολο: mol. *Το «mole» ορίζεται ως η ποσότητα της ουσίας, η οποία περιέχει τον ίδιο αριθμό μορίων (ή ιόντων, ή ατόμων, ή ηλεκτρόνια, ανάλογα με την περίπτωση), με όσα υπάρχουν άτομα σε ακριβώς 12 γραμμάρια του καθαρού ισοτόπου του  $^{12}\text{C}$ .*<sup>14</sup>

Η Διεθνής Ένωση Θεωρητικής και Εφαρμοσμένης Χημείας (IUPAC) υιοθέτησε το 1965, σχεδόν ταυτόσημο ορισμό: *Ένα mole είναι μια ποσότητα ουσίας καθορισμένου χημικού τύπου, που περιέχει τον ίδιο αριθμό τυπικών μονάδων (άτομα, μόρια, ιόντα, ηλεκτρόνια, κβάντα, ή άλλες οντότητες) με όσα υπάρχουν σε 12 γραμμάρια (ακριβώς) του καθαρού ισοτόπου  $^{12}\text{C}$ .*

Το 1971 ο κοινός ορισμός IUPAP και IUPAC, γίνεται δεκτός από το 14ο συνέδριο μέτρων και σταθμών (CGPM). Με βάση τον ορισμό αυτό το mol είναι η ποσότητα ουσίας η οποία περιέχει τόσες οντότητες όσες περιέχονται

σε 0,012 Kg του  $^{12}\text{C}$ . Ο ορισμός αυτός προσπαθεί να συμβιβάσει τις δύο προσεγγίσεις για τη μονάδα mole. Το mole είναι ένας αριθμός οντοτήτων (μορίων, ατόμων ...) και ταυτόχρονα η μάζα μιας ουσίας.

Το 1980 η Διεθνής Επιτροπή Μέτρων και Σταθμών (CIPM) διευκρινίζει ότι στον ορισμό του mole τα άτομα του άνθρακα-12 ( $^{12}\text{C}$ ) θα πρέπει να είναι ελεύθερα από χημικούς δεσμούς και στη θεμελιώδη ενεργειακή τους κατάσταση.

Νεότερες τεχνικές επέτρεψαν τον πολύ ακριβή υπολογισμό του αριθμού ή σταθεράς του Avogadro ( $N_A = 6.02214076 \times 10^{23}$ ) και έτσι στην 26η Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών (CGPM) τον Νοέμβριο του 2018 (με ισχύ από τις 20 Μαΐου 2019) αποφασίστηκε ο σημερινός ορισμός του mole που είναι ανεξάρτητος από το Kg. Ένα mole είναι η ποσότητα ύλης που περιέχει ακριβώς  $6.02214076 \times 10^{23}$  στοιχειώδεις οντότητες.<sup>15</sup>

Οι Fang, Hart, και Clarke (2016), θεωρούν ότι, για την επίλυση στοιχειομετρικών προβλημάτων δεν χρειάζεται να γνωρίζουμε την αριθμητική τιμή του αριθμού Avogadro.<sup>16</sup> Συγκεκριμένα αναφέρουν:

«Υποστηρίζουμε ότι ο αριθμός  $6,02 \times 10^{23}$  δεν είναι κεντρικός για την κατανόηση της έννοιας του mole. Το μέγεθος του αριθμού παίζει μόνο δευτερεύοντα ρόλο. Όπως επισήμαναν οι Bievre και Peiser (1992), «πριν από την εισαγωγή του mole, το μεγαλύτερο μέρος της ποσοτικής χημείας είχε αναπτυχθεί, αδιαφορώντας για το ακριβές μέγεθος του  $N_A$ »<sup>17</sup>. Στην πραγματικότητα, μπορεί κανείς να κατανοήσει πλήρως το νόημα και το σκοπό της ιδέας του mole χωρίς να γνωρίζει τον αριθμό Avogadro,  $6,02 \times 10^{23}$ . Αν αναλογιστείτε πώς χρησιμοποιούμε την ιδέα του mole, αντιλαμβάνεστε ότι στην πραγματικότητα δεν μετράμε τον αριθμό των σωματιδίων. Αντίθετα, εφαρμόζουμε την ιδέα του mole για να μετρήσουμε τις μάζες των ουσιών που εμπλέκονται σε μια χημική αντίδραση από τις οποίες προκύπτει μια ακριβής σχέση (λόγος) μεταξύ των αριθμών των αντιδρώντων σωματιδίων».<sup>16</sup>

## 2.4 Γραμμομοριακή ή μολαρική μάζα (molar mass) – μοριακή μάζα (molecular mass)

Αν γνωρίζουμε τις μάζες των σωματιδίων που εμπλέκονται σε μια αντίδραση, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τη μάζα και τον όγκο των ουσιών που προκύπτουν από το συνδυασμό τους. Η μετάφραση αυτών των ποσοτήτων σε μάζα (εκφραζόμενη σε γραμμάρια) οδήγησε στην εισαγωγή των εννοιών του γραμμοατόμου (grat), του γραμμομορίου, του γραμμοϊσοδύναμου (greq) και της γραμμοτυπικής μάζας.

Ο όρος molar mass  $M$  (γραμμομοριακή μάζα), εισήχθη για πρώτη φορά από τον Γερμανό χημικό Hofmann, ο οποίος τη χρησιμοποίησε για να σημαίνει μια μεγάλη ή μακροσκοπική μάζα, το αντίθετο του όρου molecular mass  $m$  ή  $M_r$  (μοριακή μάζα ή σχετική μοριακή μάζα).

Πολλές φορές γίνεται σύγχυση μεταξύ των εννοιών γραμμομοριακή μάζα (molar) και μοριακή μάζα ή σχετική μοριακή μάζα (molecular), στη διδασκαλία αλλά και σε σχολικά βιβλία. Η γραμμομοριακή μάζα ( $M$ ) είναι η μάζα ενός mol μορίων ουσίας και έχει μονάδες στο SI, Kg/mol ενώ η σχετική μοριακή μάζα ( $m$  ή  $M_r$ ) είναι ο λόγος της μάζας ενός μορίου προς τη μονάδα ή σταθερά ατομικής μάζας  $u$  ή  $m_u$  ή Da. Δηλαδή  $M_r = \frac{m_{\text{μορίου}}}{u}$  όπου  $u$  είναι η μάζα του 1/12 του ατόμου του  $^{12}\text{C}$ . Η ατομική μονάδα μάζας  $u$  ή  $m_u$  ή Da (Dalton) ορίζεται το 1/12 της μάζας του ατόμου του  $^{12}\text{C}$  ή  $u=m_u = \frac{m_{^{12}\text{C}}}{12}$ . Επομένως η σχετική μοριακή μάζα ( $M_r$ ) δεν έχει μονάδες στο SI αλλά είναι καθαρός αριθμός. Ανάλογα η σχετική ατομική μάζα ( $A_r$ ) ορίστηκε ως ο λόγος της μέσης μάζας του ατόμου προς τη μονάδα ατομικής μάζας ( $u$ ),  $A_r = \frac{m_{\text{ατόμου}}}{u}$ . "Μέση μάζα" σημαίνει το μέσο όρο των ατομικών μαζών όλων των ατόμων ενός στοιχείου που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο δείγμα, παίρνοντας υπόψη την ισοτοπική αναλογία στο δείγμα αυτό. Η σχετική ατομική μάζα ( $A_r$ ) είναι επίσης καθαρός αριθμός. Οι ισοδυναμίες μονάδων για τη μονάδα ατομικής μάζας  $u$  ή Da παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1** Ισοδυναμίες μονάδων για τη μονάδα ατομικής μάζας  $u$  ή  $Da$

Ισοδυναμίες $1 u$ ή $Da$	Μονάδες
$1,660\,538\,782(83) \cdot 10^{-24}$	g
$1,660\,538\,782(83) \cdot 10^{-27}$	kg
$931,494\,028(23) \cdot 10^6$	eV/c <sup>2</sup>

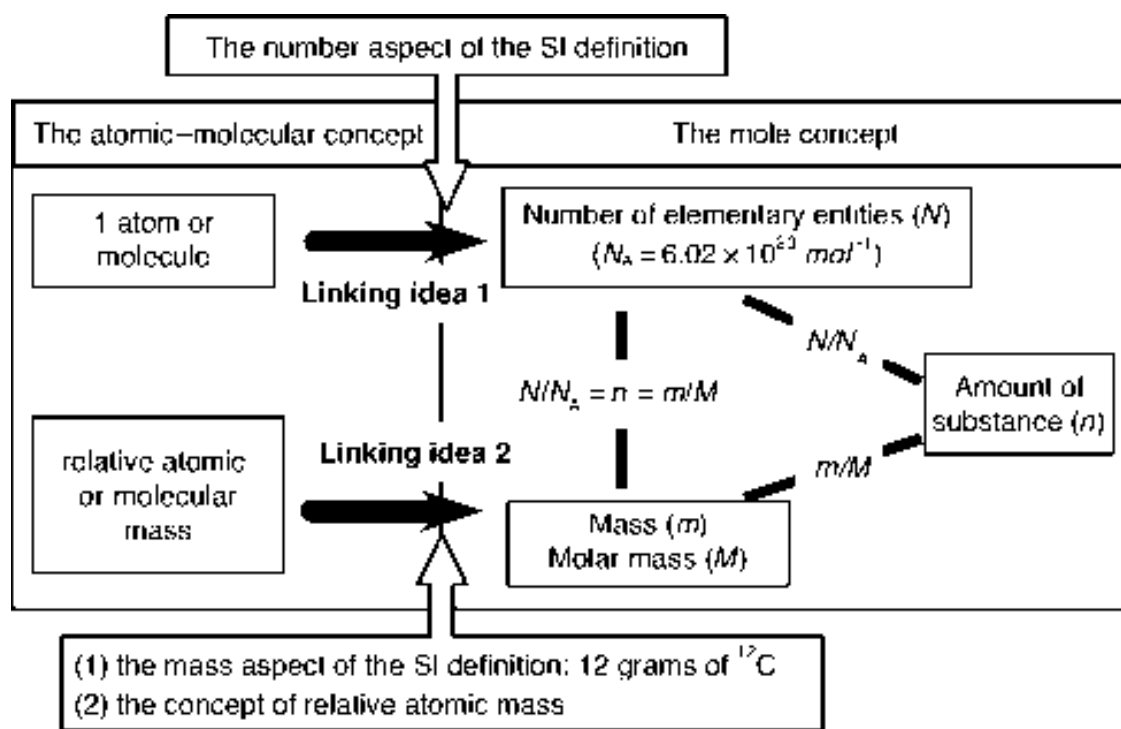
Τα μόρια αποτελούνται από άτομα. Για το λόγο αυτό, έχουμε μια σύνδεση μεταξύ γραμμομοριακής μάζας (molar mass) ενώσεων ή στοιχείων και των σχετικών μοριακών μαζών τους ( $M_r$ ) ή των σχετικών ατομικών μαζών τους ( $A_r$ ).

Έτσι, ένα γραμμομόριο ενός στοιχείου ή ένωσης έχει μια αριθμητική τιμή για τη γραμμομοριακή μάζα του σε γραμμάρια που είναι προσεγγιστικά, αλλά όχι ακριβώς, ίση με τη σχετική ατομική ή μοριακή μάζα του. Η διαφορά στην τιμή μεταξύ γραμμομοριακής και σχετικής μοριακής μάζας οφείλεται στο γεγονός ότι τα στοιχεία είναι μίγματα ισοτόπων. Η σχετική μοριακή μάζα ή η ατομική μάζα εκφράζει τη μάζα ενός συγκεκριμένου ισοτόπου για ένα άτομο ή τη μάζα ενός μορίου που αποτελείται από συγκεκριμένα ισότοπα ενώ η μολαρική ή γραμμομοριακή μάζα υπολογίζεται από τις σχετικές ατομικές ή μοριακές μάζες, οι οποίες έχουν σταθμιστεί με βάση την αναλογία ισοτόπων του στοιχείου ή της χημικής ένωσης. Παράδειγμα για το νερό ( $H_2O$ ) είναι  $M = 18,0153$  g/mol ενώ η σχετική μοριακή μάζα  $M_r$  έχει τιμή 18,0105646863 Da για το  $^1H_2^{16}O$  και 22,0277364 Da για το  $^2H_2^{18}O$ . Έχει πολύ μεγάλη σημασία λοιπόν να γίνει διάκριση ανάμεσα στη γραμμομοριακή και τη σχετική μοριακή μάζα οι οποίες διαφέρουν στις μονάδες αλλά και αριθμητικά.

Η γραμμομοριακή μάζα (molar mass) είναι μια εντελώς διαφορετική επιστημονική έννοια από τη σχετική ατομική/μοριακή μάζα. Η γραμμομοριακή μάζα αντιπροσωπεύει τη μάζα ενός γραμμομορίου μιας ουσίας στο μακροσκοπικό επίπεδο, ενώ η σχετική ατομική μάζα είναι ο λόγος της μέσης

μάζας του ατόμου προς την ενοποιημένη ατομική μονάδα μάζας (u) στην ατομική κλίμακα.

Η «ποσότητα ουσίας» και η μονάδα της το mole μας επιτρέπουν να συνδέουμε υπολογιστικά το ατομικό, μικροσκοπικό επίπεδο με το μακροσκοπικό (Εικόνα 1). Τον αριθμό σωματιδίων σε ένα δείγμα με τη μάζα του. Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι:  $\frac{N}{N_A} = n = \frac{m}{M}$ . Όπου N: ο αριθμός μορίων,  $N_A$ : ο αριθμός Avogadro ( $6.02214076 \times 10^{23}$ ), n: η ποσότητα ουσίας σε mol, m: η μάζα της ουσίας και M: η γραμμομοριακή μάζα. Σχηματικά οι σχέσεις αυτές και οι ιδέες που τις συνδέουν αποτυπώνονται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1 Σύνδεση ατομικού και μακροσκοπικού επιπέδου<sup>18</sup> (Fang et al., 2014)

Από τη μία πλευρά, η ατομική μοριακή έννοια επιτρέπει στους χημικούς να σκέφτονται θεωρητικά για διακριτά άτομα και μόρια και τις ατομικές και μοριακές μάζες τους σε μικροσκοπικό επίπεδο. Από την άλλη πλευρά, μέσω της ιδέας του mole, οι χημικοί μπορούν πρακτικά να χειριστούν έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό ατόμων και μορίων στο μακροσκοπικό επίπεδο ζυγίζοντας τα.<sup>18</sup>

Δυσκολίες αντιμετώπισαν και οι επιστήμονες στην ιστορική αναδόμηση των σχετικών εννοιών. Χημικοί που έβλεπαν την ύλη ως συνεχή προτιμούσαν να χρησιμοποιήσουν ισοδύναμες μάζες για να εξηγήσουν χημικές αντιδράσεις, ενώ μετά την ατομική θεωρία στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αι. οι χημικοί υπολογισμοί στηρίζονται στα άτομα και τα μόρια.

Οι όροι «mole» και «ποσότητα ουσίας» είχαν εισαχθεί στα τέλη της δεκαετίας του 1880 από τον Wilhelm Ostwald. Όμως επειδή ο Ostwald ήταν αντίπαλος της ατομικής θεωρίας όρισε το «mole» με όρους μάζας, ίσο με το «μοριακό βάρος» σε γραμμάρια. Ο όρος «mole» ορίστηκε αργότερα ως ποσότητα σωματιδίων υπό την επίδραση της ατομικής θεωρίας. Για πολλά χρόνια οι δύο ορισμοί συνυπήρχαν και προκαλούσαν σύγχυση στους επιστήμονες. Αυτό αποτυπώθηκε ιστορικά και στα σχολικά εγχειρίδια.

Σύμφωνα με τους Fang, Hart, and Clarke (2014), οι εκπαιδευτικοί προκειμένου να διδάξουν ουσιαστικά την έννοια του mole πρέπει να καθοδηγήσουν τους μαθητές τους να αντιληφθούν τη σχέση του mole τόσο με τον αριθμό ατόμων και μορίων (μικροσκοπικό επίπεδο) όσο και με τη μάζα (μακροσκοπικό επίπεδο).<sup>18</sup>

Κατά την περίοδο της γέννησής της, η έννοια/ της στοιχειομετρίας προκάλεσε πολλές αντιπαραθέσεις. η πιο γνωστή είναι αυτή μεταξύ Berthollet (αντίπαλος) και Proust (υποστηρικτής).<sup>19</sup>

Σήμερα η στοιχειομετρία έχει κεντρικό ρόλο στη χημεία, θεωρούμενη ως κλάδος της. Θεωρείται ως το αναγνωριστικό σήμα της χημείας και επομένως παίζει κυρίαρχο ρόλο στη χημική μετρολογία, που εμπλέκεται με ποσοτικές (βαρυμετρικές, ογκομετρικές, φασματοφωτομετρικές, αεριομετρικές κ.λπ.) μεθόδους ανάλυσης και στη χημική εκπαίδευση.<sup>19</sup>

Παρά τον κυρίαρχο ρόλο της στοιχειομετρίας, υπάρχουν ορισμένα ζητήματα για τα οποία τίθεται υπό αμφισβήτηση. Συγκεκριμένα, η στοιχειομετρία παρεμποδίζει μερικές φορές την απόκτηση φυσικοχημικών και αναλυτικών γνώσεων για ηλεκτρολυτικά συστήματα, κυρίως στην περίπτωση σύνθετων οξειδοαναγωγικών ισορροπιών.<sup>19</sup>

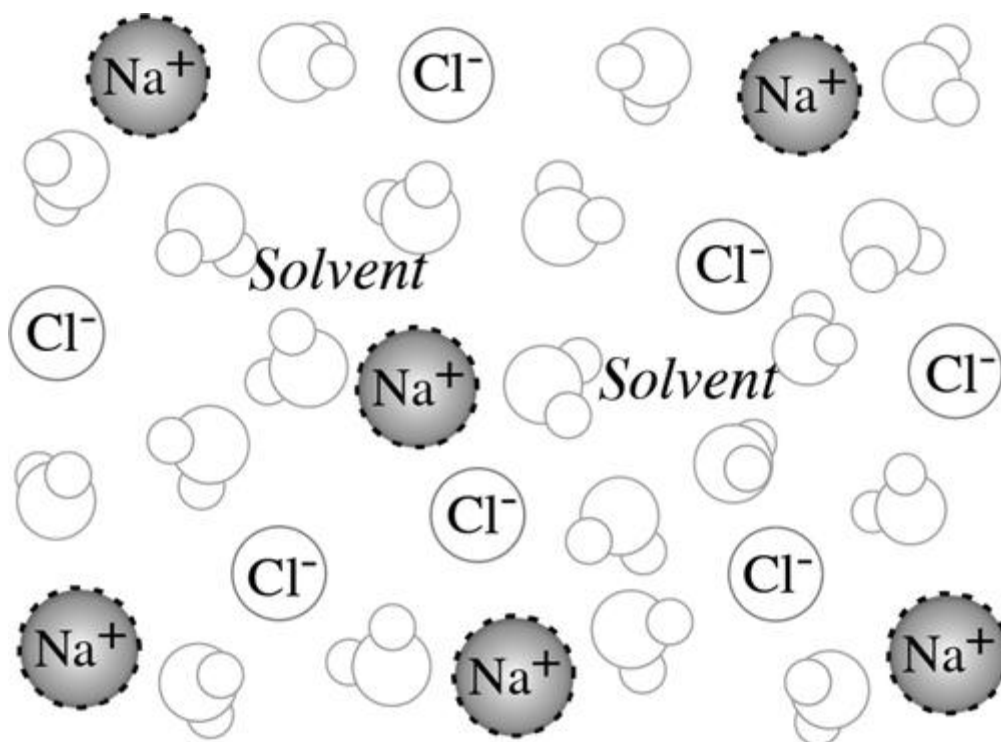
## 2.5 Προβλήματα και αντιρρήσεις για τον ορισμό της «ποσότητας ουσίας» και του mole

Όπως συμβαίνει συχνά για επιστημονικά θέματα, μέσα στην επιστημονική κοινότητα, αναπτύσσεται μια συζήτηση και εκφράζονται διαφορετικές απόψεις και αντιρρήσεις για τη χρήση του όρου «ποσότητα ουσίας» για τον ορισμό του mole κλπ. Έτσι η Giunta (2015) γράφει « Η δική μου σύσταση είναι η κατάργηση της έννοιας ποσότητας ουσίας. Ως τεχνικός όρος, δεν προσθέτει ουσιαστικά στην κατανόηση του mole. Και είναι ένας όρος που οι χημικοί δεν έχουν αγκαλιάσει, πάνω από τέσσερις δεκαετίες μετά την υιοθέτησή του στο SI.» και παρακάτω «... ήθελα να προσθέσω ότι περισσότερες από μια γενιές χημικών έχουν χρησιμοποιήσει τον όρο mole χωρίς να βοηθηθούν ή να ενοχληθούν από τον ορισμό του SI. Υπάρχει μικρή προοπτική για τους χημικούς να αγκαλιάσουν την ποσότητα της ουσίας μετά τους επαναπροσδιορισμούς του νέου SI, έτσι το νέο SI θα ήταν καλύτερα χωρίς αυτόν τον όρο».<sup>20</sup>

Ο Schmidt-Rohr (2020), διατυπώνει την άποψη ότι ο ορισμός του mole από τη IUPAC, ως μονάδα μέτρησης της ποσότητας ουσίας είναι προβληματικός και δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές περιπτώσεις όπου δεν έχει έννοια η ποσότητα ουσίας όπως π.χ. σε ιοντικά διαλύματα (Εικόνα 2).<sup>21</sup>

Η «ποσότητα ουσίας» είναι μια φανταστική έννοια που επινοήθηκε για να συμβιβάσει τη συνεχή με τη σωματιδιακή αντίληψη της ύλης αλλά τελικά δημιούργησε μεγαλύτερη σύγχυση. Δε υπάρχει ποσότητα ουσίας που περιέχει 1 mole  $e^-$  ή 1 mole  $Na^+$  αλλά οι έννοιες αυτές είναι απαραίτητες στη χημεία.





Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση  $0,9963 \times 10^{-5}$  amole ιόντων  $\text{Na}^+$  σε υδατικό διάλυμα  $\text{NaCl}$ .<sup>21</sup>

Ο Schmidt-Rohr (2020) προτείνει τον ορισμό του mole απλά ως αριθμού  $1 \text{ mole} = 6,022 \cdot 10^{23}$ . Συγκεκριμένα αναφέρει «Σύμφωνα με τον ορισμό IUPAC το mole στο SI, είναι η μονάδα της «ποσότητας της ουσίας» και δεν μπορεί να θεωρηθεί αριθμός. Κατά συνέπεια, δεδομένου ότι δεν υπάρχει ουσία ηλεκτρονίων ( $e^-$ ) ή ουσία κατιόντων υδρογόνου ( $\text{H}^+$ ), αυτός ο ορισμός δεν εφαρμόζεται πραγματικά σε μετρήσιμα ηλεκτρόνια ή ιόντα  $\text{H}^+$  και έτσι δεν εξυπηρετεί πλήρως τις ανάγκες των χημικών. Αυτό το πρόβλημα θα λυνόταν αν η χημεία απελευθερωνόταν από τις επιπλοκές μιας ξεπερασμένης συνεχούς έννοιας της ουσίας και το mole οριζόταν απλά ως  $6,022 \times 10^{23}$ , όπως συνέβαινε σε πολλά εγχειρίδια πριν από το 1971 ... το mole πρέπει να είναι ένας αριθμός:  $1 \text{ mol} \text{ ιόντα } \text{Na}^+ = 6,022 \times 10^{23} \text{ Na}^+ \text{ ιόντα.}$ ». Θεωρεί επίσης ότι «όλα τα εγχειρίδια χρησιμοποιούν σιωπηρά το mole ως αριθμό,  $1 \text{ mol} = 6,022 \times 10^{23}$ , για ηλεκτρόνια και ιόντα».<sup>21</sup>

Πριν από 200 περίπου χρόνια, στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα κρίθηκε υπέρ του Proust η δεκαετής σχεδόν, διαμάχη του με τον Berthollet για τη στοιχειομετρία. Ο Berthollet πίστευε ότι δεν υπήρχε σταθερή σύσταση των

χημικών ενώσεων αλλά αυτή μπορεί να ποικίλει σε ένα ευρύ φάσμα. Ο Proust με πολυάριθμες πειραματικές εργασίες απέδειξε την τήρηση μιας σταθερής αναλογίας ανάμεσα στα συστατικά μιας χημικής ένωσης ανεξάρτητα από τον τρόπο σύνθεσής της. Ο νόμος των απλών αναλογιών αποτέλεσε τη βάση της ανάπτυξης της στοιχειομετρίας και σχετίζεται άμεσα με την επικράτηση της ατομικής θεωρίας. Ωστόσο σήμερα έχουν βρεθεί πολλές μη στοιχειομετρικές χημικές ενώσεις που δεν ακολουθούν τον κανόνα της οκτάδας. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί το καρβίδιο του αργιλίου, το οποίο σε στερεή μορφή έχει σταθερή σύσταση ( $\text{Al}_4\text{C}_3$ ) ενώ σε κατάσταση ατμών μπορεί να βρεθεί σε οποιαδήποτε αναλογία μεταξύ Al και C ή το υδρίδιο του παλλαδίου ( $\text{PdH}_x$ ,  $0,02 < x < 0,58$ ). Πολλά νανοϋλικά ή άμορφα και υαλώδη υλικά είναι επίσης μη στοιχειομετρικά.

Οι Boldyrev και Wang (2001) σε άρθρο σχετικό με τις μη στοιχειομετρικές ενώσεις καταλήγουν: «Η μη στοιχειομετρία (nonstoichiometry) αντιπροσωπεύει ένα άλλο επίπεδο πολυπλοκότητας. Ενώ τα στοιχειομετρικά μόρια και τα υλικά έχουν κατανοηθεί καλά από την εποχή του Berthollet και του Proust πριν από δύο αιώνες, τα μη στοιχειομετρικά είδη και υλικά μπορεί να γίνουν ένα σημαντικό θέμα και να αποτελέσουν ένα μεγάλο νέο σύνορο στη χημεία και την επιστήμη των υλικών τον επόμενο αιώνα. Η χημική διαίσθηση του Berthollet, ο οποίος υποστήριζε την ιδέα των απροσδιόριστων χημικών συνθέσεων στην αυγή της χημείας πριν από δύο αιώνες, θα μπορούσε να ήταν πολύ μπροστά από την εποχή του, και μπορεί να είχε δίκιο τελικά»<sup>22</sup>

### 3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Η στοιχειομετρία στη χημική εκπαίδευση

#### 3.1 Η στοιχειομετρία στα σχολικά εγχειρίδια

Τα παιδιά πολλές φορές δυσκολεύονται να διαβάσουν και να κατανοήσουν τα εγχειρίδια της επιστήμης που χρησιμοποιούνται συνήθως στις πρώτες τάξεις, γιατί συχνά περιέχουν δύσκολο λεξιλόγιο και αφηρημένες έννοιες.<sup>23</sup>

Οι επιστημονικές έννοιες παρουσιάζονται πολλές φορές στα σχολικά βιβλία και κατ' επέκταση στη διδακτική πρακτική, ως στατική και απόλυτη γνώση, αλλά στην πραγματικότητα είναι δυναμικές και υποκείμενες στις εξελίξεις της επιστήμης.

Κατά την ανάλυση των βιβλίων της επιστήμης, οι ερευνητές εξετάζουν την ισορροπία μεταξύ θεωρητικής και πρακτικής γνώσης, ... την αντιμετώπιση κοινωνικο-επιστημονικών και αμφιλεγόμενων θεμάτων την απεικόνιση με γραφικές πληροφορίες, το λεξιλόγιο, τη δυνατότητα κατανόησης στο επιδιωκόμενο επίπεδο, την ακρίβεια και συνοχή, ... το ρόλο των ερωτημάτων και δραστηριοτήτων του βιβλίου.<sup>23</sup>

Έρευνες σε βιβλία φυσικής και χημείας, έδειξαν ότι οι επιστημονικές γνώσεις παρουσιάζονται ως άθροισμα κανόνων, διαδικασιών και ρυθμίσεων και το περιεχόμενο τείνει να είναι δομημένο γύρω από έναν μικρό αριθμό βασικών και ενοποιητικών εννοιών.<sup>23</sup> Επίσης οι ερωτήσεις – ασκήσεις που υπάρχουν στα σχολικά βιβλία αποτελούν ένα μέτρο για να αξιολογηθεί σε ποιο βαθμό οι έννοιες που διδάχθηκαν τα παιδιά αφομοιώθηκαν από αυτά, ενεργοποίησαν την κριτική σκέψη των μαθητών, προκάλεσαν γνωστικές συγκρούσεις ή απαίτησαν από τα παιδιά να επιχειρηματολογήσουν για να επαληθεύσουν ή να διαψεύσουν μια ερμηνεία.<sup>24</sup>

Ο Niaz (2001) μελέτησε 27 σχολικά εγχειρίδια που ήταν δημοσιευμένα στις ΗΠΑ και υποστηρίζει ότι, τα περισσότερα από τα εγχειρίδια δεν παρουσιάζουν τους νόμους των καθορισμένων και πολλαπλών αναλογιών

μέσα σε μια ιστορική και φιλοσοφική προοπτική, αγνοώντας δηλαδή την ιστορική και αμφιλεγόμενη προέλευση αυτών των νόμων.<sup>5</sup>

Οι Padilla και Furio (2008) ανέλυσαν 30 γενικά εγχειρίδια χημείας που χρησιμοποιήθηκαν στα μεξικάνικα κολέγια για να καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα εγχειρίδια εισάγουν το mole.<sup>6</sup> Η ανάλυση έδειξε ότι σε πολλές περιπτώσεις, η ποσότητα της ουσίας αναφερόταν μόνο επιφανειακά, και οι παρουσιάσεις του mole δεν ήταν απαραίτητα σύμφωνες με τον επιστημονικό ορισμό. Τα πορίσματα αυτά ήταν σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες των de Berg (1986), Staver και Lumpe (1993) και Giunta (2015).<sup>20, 25, 26</sup> Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σχεδόν το 90 % των σχολικών βιβλίων παρουσίαζαν το mole χωρίς το ιστορικό του πλαίσιο όσον αφορά τις αντιπαραθέσεις μεταξύ του ισοδυνάμου και των ατομικών παραδειγμάτων.<sup>14, 16</sup>

Οι Cervellati, Montuschi, Perugini, Grimellini-Tomasini και Balandi (1982) έχουν διαπιστώσει ότι ο όρος mole είναι μόνο ένα συνώνυμο του γραμμομορίου στα περισσότερα από τα 13 βιβλία δευτεροβάθμιας χημείας που χρησιμοποιούνται στα Ιταλικά σχολεία.<sup>27</sup> Η ανάλυση του Staver και της Lumpe (1993) σε 29 βιβλία χημείας γυμνασίου και κολλεγίου δείχνει ότι οι συγγραφείς ορίζουν το mole: (1) ως τον αριθμό  $6,02 \times 10^{23}$  σωματιδίων, ή (2) με βάση τον  $^{12}\text{C}$ .<sup>26</sup>

Η χρήση του όρου «ποσό ουσίας» στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) το 1971 από τη Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών (CGPM) θα έπρεπε να αποτυπωθεί στα σχολικά και φοιτητικά εγχειρίδια. Όμως πολλές έρευνες δείχνουν ότι πολλά βιβλία δεν αναφέρονται στην έννοια «ποσό ουσίας» αρκετά χρόνια μετά την υιοθέτησή της.

Ενδεικτικά ο de Bièvre (2014) αναφέρει ότι μια ανασκόπηση 18 εγχειριδίων γενικής χημείας για πρωτοετείς φοιτητές που δημοσιεύθηκαν 1989-2014 σε Ευρώπη και τις ΗΠΑ, αποκαλύπτει ότι η έννοια «ποσότητα ουσίας» βρίσκεται στο ευρετήριο σε 3 από τα 18 μόνο βιβλία και αναφέρεται σωστά στο κείμενο σε 4 από τα 18 μόνο. Επίσης ότι σε κανένα από τα 18 βιβλία δεν δίνεται ένας ορθός ορισμός του mole ως μονάδας του SI.<sup>28</sup>

### 3.2 Δυσκολίες εκπαιδευτικών και μαθητών με τη στοιχειομετρία

Πολλές έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητές συναντούν σημαντικές δυσκολίες τόσο στην κατανόηση εννοιών που σχετίζονται με τη στοιχειομετρία όσο και στην απλή φορμαλιστική χρήση των σχέσεων που συνδέουν αυτές τις έννοιες. Ακόμα και όταν εκτελούν σωστά υπολογισμούς δεν κατανοούν που ακριβώς στηρίζεται η μεθοδολογία που ακολούθησαν. Είναι εξαιρετικά σπάνιο να βρεθεί μαθητής ή μαθήτρια του λυκείου ο οποίος να μπορεί να λύσει ένα απλό στοιχειομετρικό πρόβλημα χωρίς τη χρήση μαθηματικών τύπων αλλά με λογικές σκέψεις που προκύπτουν από την κατανόηση των εννοιών και της θεωρίας γενικότερα.

Οι αδυναμίες αυτές έχουν μεταξύ άλλων ως αιτία τον τρόπο διδασκαλίας των εννοιών της στοιχειομετρίας από τους εκπαιδευτικούς. Πολλές φορές υποτιμάται η αναλυτική παρουσίαση και η προσπάθεια να κατανοήσουν σε βάθος οι μαθητές τη θεωρία και η διδασκαλία μετατρέπεται σε ένα ανούσιο και πολλές φορές εξωπραγματικό ασκησιολόγιο. Το είδος των ασκήσεων που περιέχονται στα σχολικά βιβλία και κυρίως σε εξωσχολικά βοηθήματα αλλά και τα θέματα των εξετάσεων πανελλαδικών και ενδοσχολικών ωθούν μαθητές και εκπαιδευτικούς σε μια τελείως φορμαλιστική διεκπεραίωση της σχολικής ύλης.

Τις ελάχιστες φορές που τέθηκαν στις πανελλαδικές εξετάσεις θέματα που απαιτούσαν μια πιο ολοκληρωμένη γνώση της θεωρίας και βαθύτερη κατανόηση των εννοιών η αποτυχία των μαθητών ήταν πολύ μεγάλη.

Η «ποσότητα ουσίας» είναι μια βασική έννοια της στοιχειομετρίας και αποτελεί συχνό αντικείμενο συζήτησης μεταξύ ερευνητών της επιστημονικής εκπαίδευσης. Η διδασκαλία της έννοιας αυτής, η παρουσίασή της στα σχολικά βιβλία και η κατανόηση και εκμάθησή της από τους μαθητές συναντά μεγάλες δυσκολίες. Πολλές έρευνες έχουν γίνει προσπαθώντας να διερευνήσουν τη φύση αυτών των δυσκολιών πράγμα που αποτυπώνει τη σημασία και την ιδιαίτερη θέση της «ποσότητας ουσίας» στην οικοδόμηση της στοιχειομετρίας.<sup>29</sup>

Ο Strömdahl και οι συνεργάτες του (1994) σε μελέτη σχετικά με την έννοια του mole μεταξύ των εκπαιδευτικών διαπίστωσαν ότι μόνο το 11 % αυτών προσδιόρισε το mole ως τη μονάδα «ποσότητας ουσίας».<sup>30</sup> Οι Tullberg, Strömdahl και Lybeck (1994) αναφέρουν στα συμπεράσματα της έρευνας που έκαναν μεταξύ μαθητών και εκπαιδευτικών στη Σουηδία ότι πολλοί μαθητές δεν ήταν σε θέση να διακρίνουν μεταξύ της γραμμομοριακής μάζας και της ατομικής μάζας (δηλαδή, μεταξύ του συνεχούς και του ασυνεχούς επιπέδου ερμηνείας).<sup>31</sup> Οι γραμμομοριακοί όγκοι τους προκάλεσαν επίσης προβλήματα. Πολλοί μαθητές πίστευαν ότι η γραμμομοριακή μάζα (molar mass) σχετίζεται κάπως με την πυκνότητα, αλλά δεν μπορούσαν να εκφράσουν τη σχέση. Οι μαθητές ήταν πιο εξοικειωμένοι με τη σχέση της μάζας και του «αριθμού των mole». Δύο από αυτούς το εξέφρασαν με μαθηματικό τύπο. (Καμία από τις άλλες σχέσεις δεν εκφράστηκε με κάποιο μαθηματικό τύπο.) Όταν η λέξη «ποσότητα» χρησιμοποιήθηκε, υποδήλωνε διαφορετικά πράγματα. Μερικοί από τους μαθητές τη χρησιμοποίησαν συνώνυμα με τον «αριθμό των mole», άλλοι με τον όγκο ή απλά ως αριθμό. Μερικές φορές οι μαθητές δεν ήταν σίγουροι τι πραγματικά εννοούσαν με τη λέξη «ποσότητα». Μόνο ένας μαθητής ανέφερε τον όρο «ποσότητα ουσίας». Δεν το είχε μάθει στο σχολείο, αλλά το βρήκε σε πίνακες. Οι περισσότεροι μαθητές αντιλήφθηκαν το 1 mol ως αριθμό. Διαπιστώσαμε ότι, όταν διδάσκουν «το mole», οι δάσκαλοι δεσμεύονται έντονα από τις δικές τους αντιλήψεις που αφορούν «το mole».<sup>31</sup>

Οι μαθητές σε ένα πολύ μικρό ποσοστό μπορούν να ορίσουν σωστά το mole με βάση τον ορισμό του SI. Οι συνηθέστερες παρανοήσεις είναι ο ορισμός του mole ως αριθμό σωματιδίων ίσο με τον αριθμό Avogadro ή ως τη σχετική ατομική ή μοριακή μάζα σε γραμμάρια. Σχεδόν όλοι οι μαθητές δεν μπορούν να εξηγήσουν την αριθμητική ισότητα μεταξύ της σχετικής ατομικής (Ar) ή μοριακής μάζας (Mr) μιας ουσίας και της γραμμομοριακής ή μολαρικής μάζας (M). Μια άλλη σύγχυση που είναι συνηθισμένη μεταξύ των μαθητών είναι η ταύτιση του γραμμαρίου (gr) με την ατομική μονάδα μάζας (u ή Da).<sup>31</sup>

## 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Σκοπός και Αναγκαιότητα της Έρευνας

### 4.1 Ποια είναι η ανάγκη να γίνει αυτή η έρευνα;

Η διδασκαλία της χημείας πρέπει να είναι ιστορική και κριτική. Χρειαζόμαστε μαθητές και πολίτες που μπορούν να παίρνουν αποφάσεις με βάση πραγματικές γνώσεις. Αυτό σημαίνει γνώση του ιστορικού πλαισίου διαμόρφωσης των εννοιών καθώς και της εξέλιξή τους ως αποτέλεσμα της επιστημονικής προόδου.

Σε κανένα σχολικό βιβλίο δεν βρίσκουμε τις εκφράσεις μιας συγκεκριμένης θεωρίας ή πειράματος όπως είχε αρχικά διατυπωθεί. Ο σκοπός ενός σχολικού συγγραφέα είναι να αρθρώσει την αρχετυπική μορφή μιας συγκεκριμένης θεωρίας και να προσπαθήσει να την εκφράσει με τρόπο που να είναι απαλλαγμένος από οποιαδήποτε τοπική προέλευση ή οποιοδήποτε από τα ιδιότυπα χαρακτηριστικά της. Αυτό που χαρακτηρίζει τα σχολικά βιβλία, είναι η παρουσίαση, ας πούμε, μιας θεωρίας με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει κάποιου είδους συνέχεια με το τι προηγήθηκε και τι θα ακολουθήσει. Ως εκ τούτου, τα επιστημονικά εγχειρίδια με τον τρόπο που οργανώνουν το υλικό τους, εκφράζουν ένα είδος ιστορικής αφήγησης.<sup>32</sup>

Η γνώση των ιστορικών γεγονότων μπορεί να βοηθήσει τους δασκάλους και τους μαθητές να εκτιμήσουν σωστά μια ποικιλία επιστημονικών θεωριών. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την εξέλιξη των βασικών εννοιών, ιδιαίτερα εκείνων που οι μαθητές μας βρίσκουν πολύ αφηρημένες και επομένως δύσκολο να κατανοηθούν. Η ιστορική γνώση των χημικών εννοιών θα μας επιτρέψει να κατανοήσουμε τις δυσκολίες τους και να τις διευκολύνουμε να διδάξουμε με επιτυχία.<sup>6</sup>

Σε πολλές έρευνες αποτυπώνεται η λανθασμένη αντίληψη πολλών εκπαιδευτικών που διδάσκουν χημεία σε μαθητές μέσης εκπαίδευσης, σε σχέση με την έννοια του mole όπως ορίζεται στο SI. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε την έρευνα του Strömdahl και συνεργατών του (1994) σε εκπαιδευτικούς χημείας (καθηγητές, λέκτορες, και συγγραφείς βιβλίων) σχετικά με το πώς εννοούν το mole. Εντόπισαν αρκετές ποιοτικές διαφορές μεταξύ των ορισμών των εκπαιδευτικών για το mole, με μόνο τρεις από τους

εκπαιδευτικούς να εκφράζουν μια αντίληψη που ήταν σύμφωνη με τον ορισμό του S.I.<sup>30</sup>

Ο Niaz (2008) έχει γράψει ένα βιβλίο με τίτλο, *Teaching general chemistry: A history and philosophy of science approach*, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνοδευτικό κείμενο του μαθητικού βιβλίου από τους εκπαιδευτικούς. Η έμφαση δίνεται στην εννοιολογική, σε αντίθεση με την αλγοριθμική, επίλυση προβλημάτων και βασίζεται στην προϋπόθεση ότι οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην κατανόηση των προβλημάτων είναι παρόμοιες με τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες για την κατανόηση μιας προηγούμενης περιόδου στην ιστορία της χημείας.<sup>33</sup>

Είναι γνωστό ότι οι εκπαιδευτικοί δεν πρέπει μόνο να έχουν καλή γνώση του θέματος για να κάνουν τη δουλειά τους καλά, αλλά πρέπει επίσης να γνωρίζουν την ιστορία και την επιστημολογία επιστημονικών κατασκευών πέρα από το περιεχόμενο της χημείας.<sup>34</sup>

Επομένως, η ανάλυση των σχολικών βιβλίων των φυσικών επιστημών και ειδικά της χημείας μας παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για το τι διδάσκεται, πως διδάσκεται και τι προβλήματα μάθησης/κατανόησης μπορούμε να αναμένουμε.

Από τη βιβλιογραφική έρευνα προκύπτει ότι πολύ λίγες μελέτες υπάρχουν στον Ελληνικό χώρο για την ιστορική ανάπτυξη εννοιών στα σχολικά εγχειρίδια και ακόμα λιγότερες για τα σχολικά βιβλία χημείας.<sup>35. 36</sup>

Η έννοια της στοιχειομετρίας και των βασικών εννοιών που συνδέονται με αυτή, παρά την αναμφισβήτητη σημασία της, δεν έχει μελετηθεί καθόλου σε σχέση με την παρουσίασή της στα σχολικά βιβλία.

Ευελπιστούμε η παρούσα μελέτη να δείξει την πορεία αναδόμησης της στοιχειομετρίας, τη σύνδεσή της με την εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών και την επίδραση που άσκησε στα σχολικά βιβλία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Επιτυχία θα ήταν αν τα αποτελέσματα της μελέτης δεν αξιοποιηθούν μόνο ως ιστορικά στοιχεία αλλά και για την τροποποίηση της διδασκαλίας ως προς το θέμα της στοιχειομετρίας τον τρόπο αξιολόγησης των μαθητών αλλά και τη συγγραφή των σχολικών βιβλίων.



## 4.2 Γιατί επιλέχθηκε η στοιχειομετρία;

Η σημασία της στοιχειομετρίας στην εξέλιξη της χημείας είναι καθοριστική αφού επέτρεψε τη μετάβαση από την ποιοτική στην ποσοτική χημεία.. Σήμερα είναι η βασική μέθοδος για τους ποσοτικούς υπολογισμούς, ενώ πολλά κεφάλαια της διδασκόμενης ύλης απαιτούν ως υπόβαθρο την κατανόηση των στοιχειομετρικών υπολογισμών. Η καθημερινή εμπειρία στην τάξη, οι σχολικές εξετάσεις, αλλά και οι πανελλαδικές εξετάσεις και διαγωνισμοί χημείας δείχνουν σοβαρό έλλειμμα στην πραγματική κατανόηση από τους μαθητές των εννοιών στις οποίες στηρίζεται η στοιχειομετρία.

Η έρευνα στην επιστημονική εκπαίδευση δείχνει ότι τόσο οι μαθητές του λυκείου όσο και οι πρωτοετείς φοιτητές έχουν δυσκολίες στην κατανόηση της στοιχειομετρίας.<sup>37, 38, 39, 40</sup> Εκτός από άλλους παράγοντες, η στοιχειομετρία είναι ένα δύσκολο θέμα, καθώς απαιτεί επίσης μια εννοιολογική κατανόηση διαφόρων άλλων εννοιών, όπως η σωματιδιακή φύση της ύλης, το mole, ο αριθμός του Avogadro, η διατήρηση της ύλης, η ισοστάθμιση των χημικών εξισώσεων, οι νόμοι των καθορισμένων και πολλαπλών αναλογιών.<sup>41</sup>

Ακόμα και αυτοί οι μαθητές που ακολουθούν τυπικά τα βήματα μιας μεθοδολογίας (αλγοριθμική επίλυση) και καταλήγουν σε σωστό αποτέλεσμα στην επίλυση ενός προβλήματος, στη μεγάλη τους πλειοψηφία δεν κατανοούν γιατί μπορούν να γίνουν αυτά τα βήματα και πως σχετίζονται με άλλες χημικές έννοιες.<sup>42, 43</sup>

Σχεδόν όλα τα εγχειρίδια χημείας σε έντυπη μορφή τονίζουν τη σύνδεση μεταξύ της γραφής των συντελεστών και της αρχής διατήρησης της ύλης του Lavoisier, αλλά σχεδόν κανένα, δεν συνδέει τις στοιχειομετρικές μεθόδους υπολογισμού με την αρχή αυτή. Αν η εύρεση συντελεστών στις χημικές εξισώσεις, ο υπολογισμός των mole ή ο υπολογισμός των όγκων των αερίων που παίρνουν μέρος σε μια αντίδραση ξεφύγει από το μαθηματικό φορμαλισμό και συνδεθεί με το θεωρητικό τους υπόβαθρο, δηλαδή την αρχή διατήρησης της μάζας, θα υποβοηθηθεί σημαντικά η προσπάθεια νοηματοδότησης της μεθοδολογίας επίλυσης χημικών ποσοτικών προβλημάτων.

Η ιδέα της στοιχειομετρίας συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη της σύγχρονης χημείας και κυρίως στον υπολογισμό των ποσοτήτων των ουσιών που παίρνουν μέρος στις χημικές αντιδράσεις. Τα τελευταία χρόνια όμως αυξάνεται συνεχώς ο αριθμός των μη στοιχειομετρικών μορίων που ανακαλύπτονται ή παρασκευάζονται π.χ. το NO<sub>2</sub>, νανοϋλικά ή πολλά άμορφα και υαλώδη υλικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αναθερμαίνεται η συζήτηση που άνοιξε πριν 200 περίπου χρόνια, μεταξύ Berthollet και Proust για την ισχύ ή όχι του νόμου των σταθερών αναλογιών του Proust για τη σύνθεση των χημικών ενώσεων.

Ενώ τα στοιχειομετρικά μόρια και υλικά έχουν γίνει καλά κατανοητά από την εποχή του Berthollet και του Proust, τα μη στοιχειομετρικά είδη και υλικά μπορεί να γίνουν κύριο θέμα και να παρουσιάσουν ένα σπουδαίο νέο σύνορο στη χημεία και την επιστήμη υλικών τον επόμενο αιώνα. Η χημική διαίσθηση του Berthollet, που υποστήριζε την ιδέα των μη καθορισμένων αναλογιών στις χημικές συνθέσεις στην αυγή της χημείας πριν δύο αιώνες, μπορεί να ήταν πολύ μπροστά από την εποχή του.<sup>22</sup>

#### **4.3 Γιατί επιλέχθηκαν τα σχολικά εγχειρίδια;**

Το σχολικό βιβλίο γράφεται με βάση το ισχύον πρόγραμμα σπουδών από το οποίο προκύπτει και η διδακτέα ύλη ενός γνωστικού αντικείμενου για μια συγκεκριμένη τάξη και σχολική βαθμίδα. Αποτελεί ένα μαθησιακό εργαλείο μέσα από το οποίο ο μαθητής αντλεί πληροφορίες για ένα γνωστικό αντικείμενο. Επιπλέον οι ασκήσεις και οι δραστηριότητες που περιέχει προσφέρουν στο μαθητή τη δυνατότητα αυτό-αξιολόγησης της μάθησής του.<sup>44</sup> Επίσης, πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι οι εκπαιδευτικοί αφιερώνουν τον περισσότερο χρόνο της διδακτικής ώρας, επομένως και των διδακτικών δραστηριοτήτων σε θέματα που καθορίζονται από το σχολικό εγχειρίδιο.<sup>45</sup>

Πολλοί ερευνητές και διδάσκοντες των Φυσικών Επιστημών, συμφωνούν ότι τα σχολικά εγχειρίδια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διδασκαλία και διαδικασία μάθησης.<sup>23</sup> Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών γιατί τα σχολικά εγχειρίδια αποτελούν σημαντικό τρόπο εισαγωγής και διαπραγμάτευσης νέων εννοιών για τους μαθητές.

Σημασία έχει όχι μόνο η μορφή και εμφάνιση των βιβλίων όπως η γλώσσα, τα σχήματα, το είδος του χαρτιού αλλά κυρίως το περιεχόμενο τους.



## 5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ Μεθοδολογία ανάλυσης εγχειριδίων

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας αναλύθηκαν εννέα (9) σχολικά βιβλία χημείας που χρησιμοποιήθηκαν ή χρησιμοποιούνται ακόμα σήμερα στην Α Λυκείου των δημόσιων και ιδιωτικών Ελληνικών σχολείων. Είναι όλα τα σχολικά εγχειρίδια που χρησιμοποιήθηκαν ως σχολικά βιβλία από το 1940 ως σήμερα (2023) στην Α΄ τάξη του Λυκείου, ή στις Δ΄ και Ε΄ τάξεις του Γυμνασίου μέχρι το 1976.

### 5.1 Κριτήρια ανάλυσης Σχολικών Εγχειριδίων

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των βιβλίων είναι:

1. Αναφέρεται η αρχή αφθαρσίας της ύλης ή διατήρησης της μάζας του Lavoisier;
2. Αναφέρεται ο νόμος σταθερών λόγων ή των απλών αναλογιών (Proust);
3. Αναφέρεται ο νόμος των απλών πολλαπλασίων ή των πολλαπλών αναλογιών (Dalton); (απόσπασμα της σύνδεσης με την ατομική θεωρία του Dalton)
4. Γίνεται σύνδεση/ερμηνεία των νόμων με την ατομική θεωρία του Dalton;
5. Γίνεται σύνδεση των νόμων Proust και Dalton, με το νόμο του Gay Lyssac; (απόσπασμα της σύνδεσης με την ατομική θεωρία του Dalton)
6. Γίνεται αναφορά σε «ισοδύναμα βάρη» ή «γραμμοϊσοδύναμα» ;
7. Αναφέρεται ή ορίζεται ο όρος «ποσότητα ουσίας»;
8. Ποιος ορισμός του mole δίνεται;
  1. Με βάση τον άνθρακα-12 ( $^{12}\text{C}$ )
  2. Με βάση μαθηματική έκφραση  $n=m/M_r$  ή  $n = m/M$
  3. Με βάση τον αριθμό σωματιδίων ( $6,02 \times 10^{23}$ )
9. Γίνεται διάκριση μεταξύ της σχετικής μοριακής μάζας ( $M_r$ ) και γραμμομοριακής ή μολαρικής μάζας ( $M$ );
10. Στους τύπους που αναφέρονται και στα λυμένα παραδείγματα, γίνεται χρήση της σωστής σχέσης  $n = m/M$  ή της λανθασμένης  $n = m/M_r$ ;

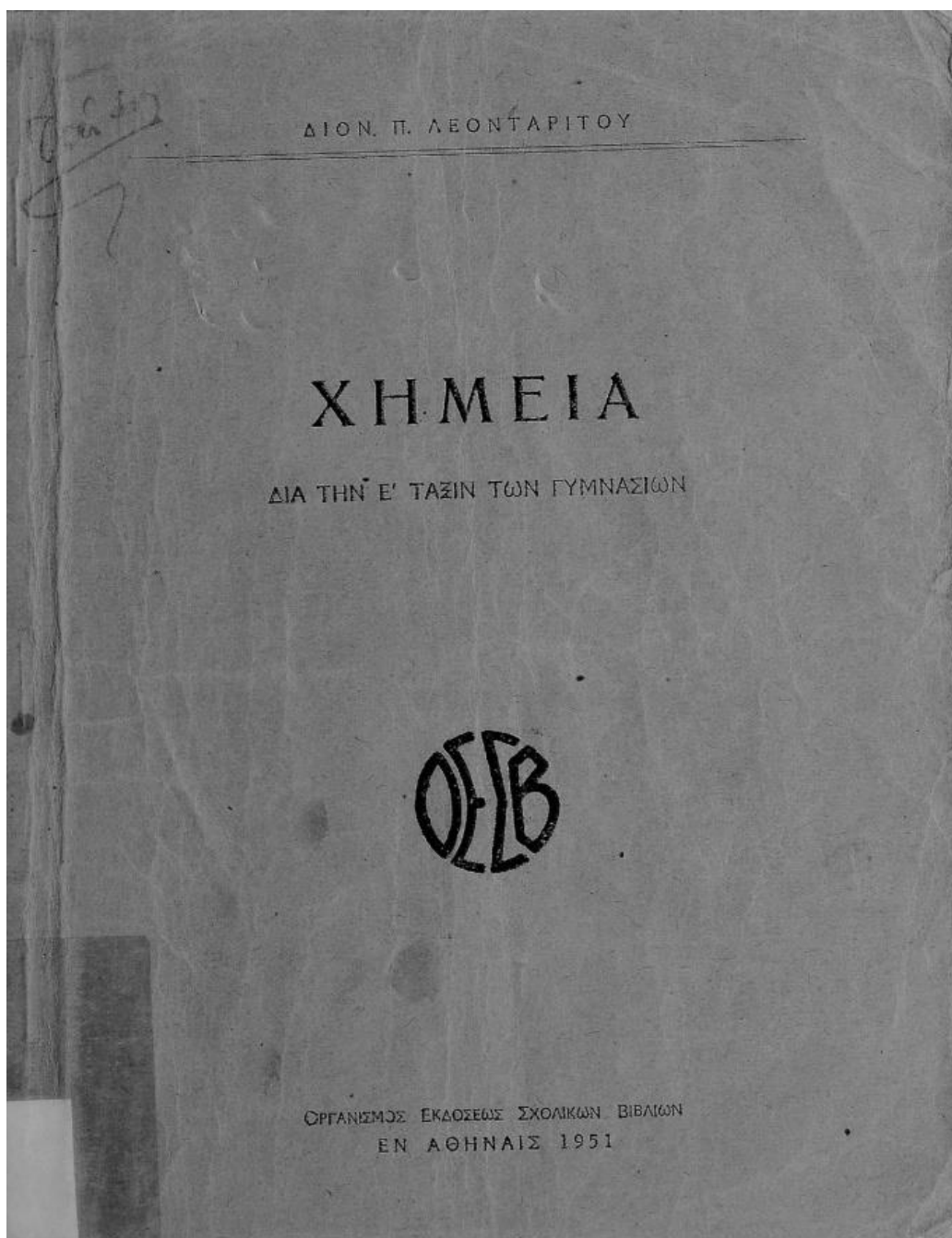
11. Υπάρχει ορισμός της στοιχειομετρίας;
12. Συνδέεται η στοιχειομετρία με την αρχή διατήρησης της μάζας του Lavoisier;
13. Αναφέρεται το  $6,02 \times 10^{23}$  ως αριθμός/σταθερά του Avogadro;
14. Αναφέρεται ότι ο αριθμός του Avogadro έχει προσδιοριστεί/μετρηθεί πειραματικά;
15. Αναφέρεται η μονάδα ατομικής μάζας ( $\text{amu} \rightarrow \text{u}$  ή Da);

Η κωδικοποίηση των απαντήσεων παρουσιάζεται στο Παράρτημα 1

## 5.2 Το δείγμα

Στην παρούσα μελέτη αναλύθηκαν εννέα (9) σχολικά εγχειρίδια (Παράρτημα 2). Αναλυτικά είναι:

A) Το βιβλίο, του Δ. Λεονταρίτη που χρησιμοποιήθηκε ως σχολικό βιβλίο για την Ε΄ τάξη των τότε εξαταξίων Γυμνασίων. από το 1940 ως το 1959. Το εξώφυλλο της έκδοσης του 1952 παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.<sup>46</sup>



**Εικόνα 3** Λεονταρίτης Δ. Χημεία διά την Ε τάξιν των Γυμνασίων, ΟΕΣΒ, 1952

Β) Το βιβλίο του Λ. Λιώκη που χρησιμοποιήθηκε ως σχολικό βιβλίο για την Δ΄ και Ε΄ Γυμνασίου από το 1959 ως το 1976 (B1)<sup>47</sup> και για τις τάξεις Α΄ και Β΄ Γενικού Λυκείου από το 1977 ως το 1979 (B2)<sup>48</sup>. Το εξώφυλλο της έκδοσης του 1962 παρουσιάζεται στην Εικόνα 4 και αυτό της έκδοσης του 1978 παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.

ΛΕΩΝΙΔΑ ΣΠ. ΛΙΩΚΗ

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥ ΧΗΜΕΙΑΣ

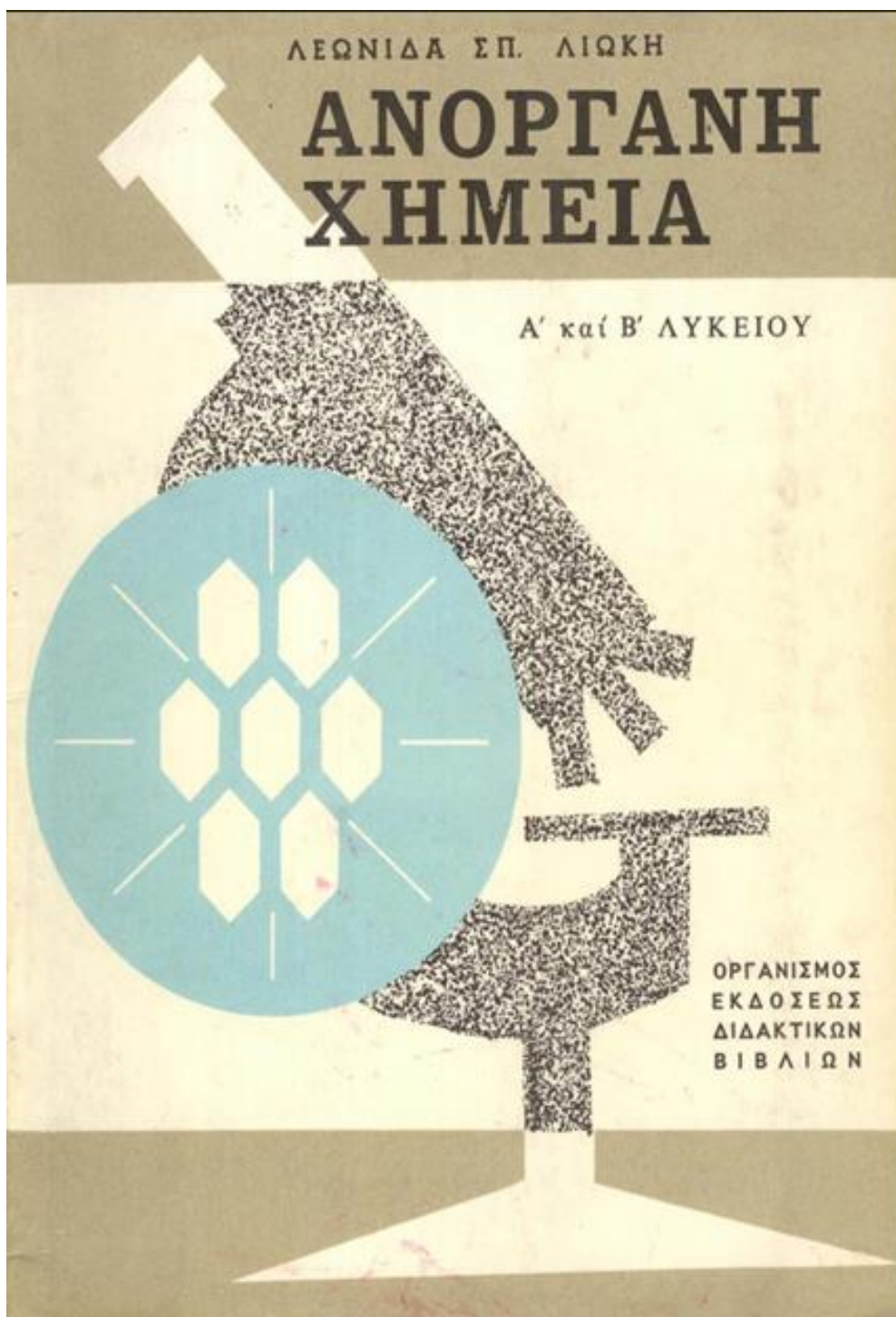
ΔΙΑ ΤΗΝ Ε' ΤΑΞΙΝ ΤΩΝ ΓΥΜΝΑΣΙΩΝ



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ  
ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ 1962

**Εικόνα 4** Λιώκης Λ. Στοιχεία Ανοργάνου διά την Ε τάξιν των Γυμνασίων, ΟΕΣΒ, 1962





**Εικόνα 5** Λιώκης Λ. ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΕΙΑ Α και Β ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 1978

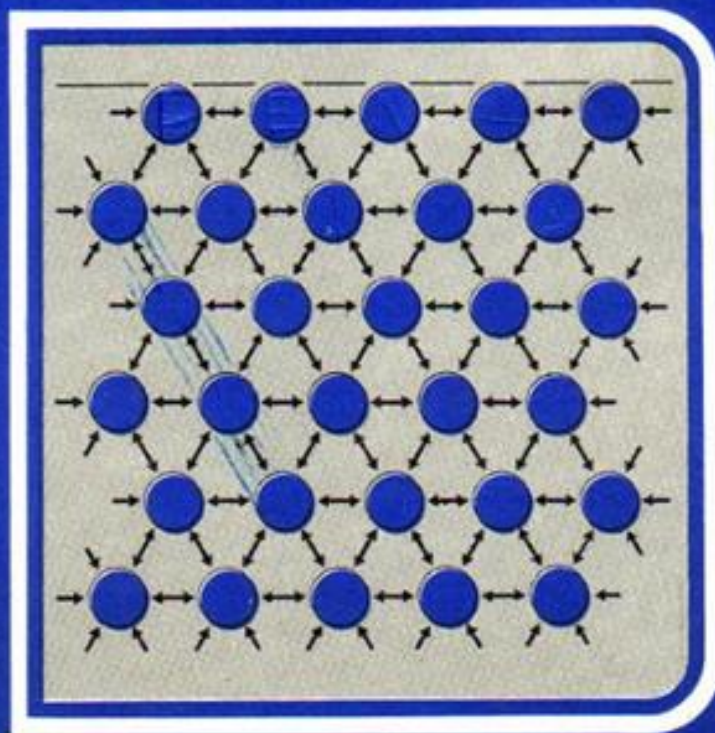
Γ) Το βιβλίο του Π. Σακελλαρίδη χρησιμοποιήθηκε ως σχολικό βιβλίο για τους μαθητές της Α΄ τάξης του Γενικού Λυκείου από το 1978 ως το 1990.<sup>49</sup> Το εξώφυλλο της έκδοσης του 1990 παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.



Α' ΤΑΞΗ ΛΥΚΕΙΟΥ

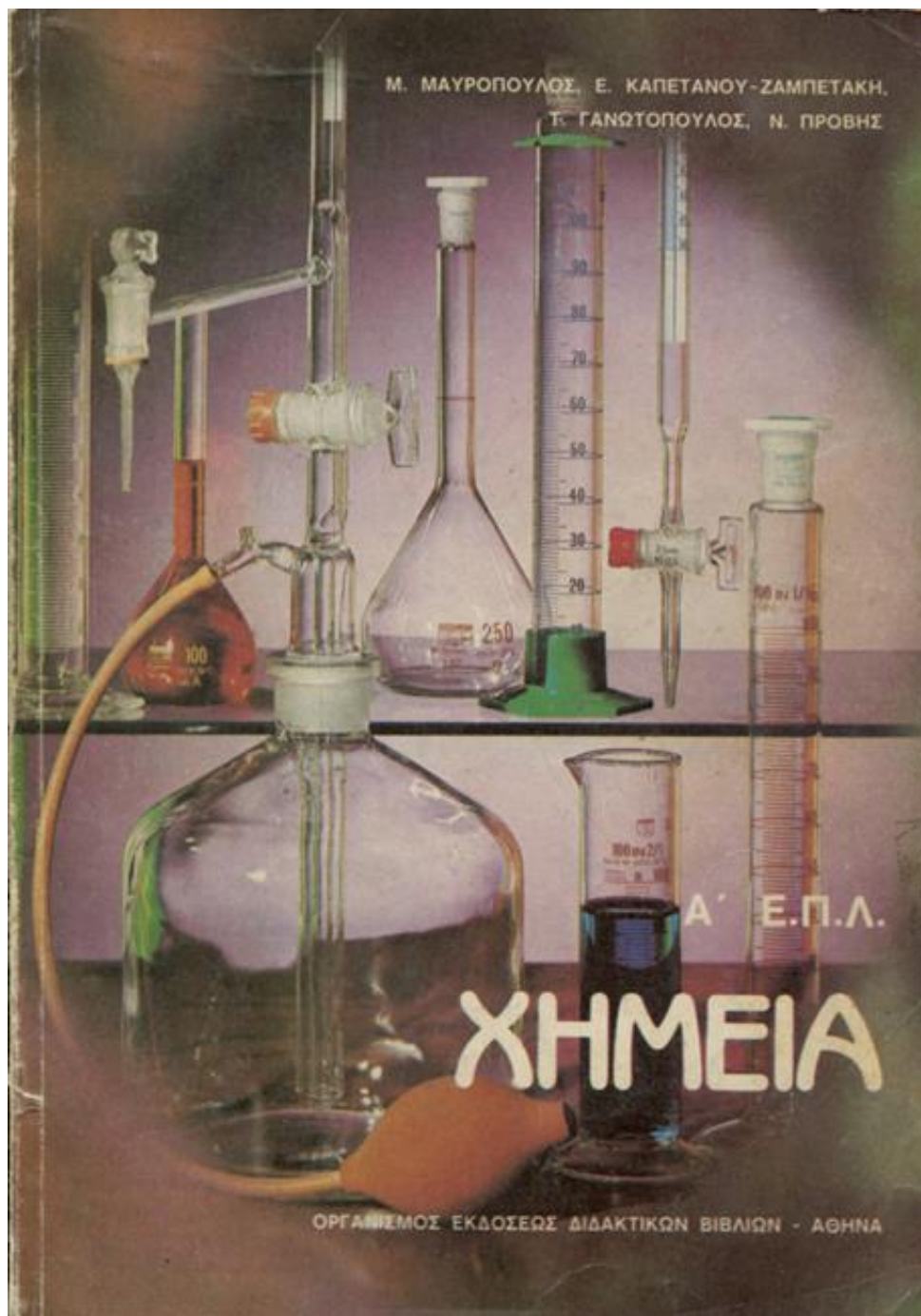
# ΧΗΜΕΙΑ

Παύλου Οδ. Σακελλαρίδη  
ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.



Εικόνα 6 Σακελλαρίδης Π. ΧΗΜΕΙΑ Α ΤΑΞΗ ΛΥΚΕΙΟΥ, Ίδρυμα Ευγενίδου, 1990

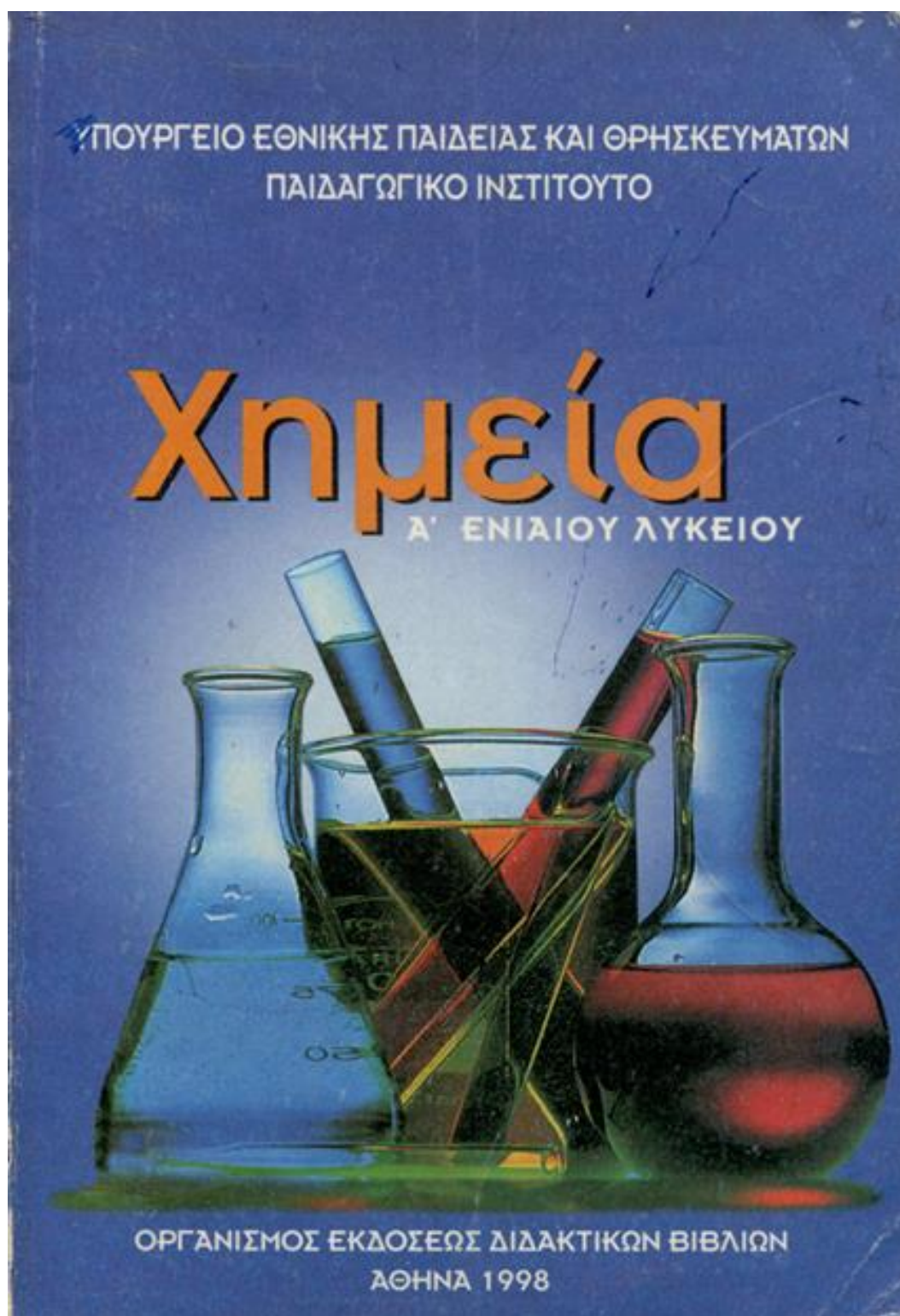
Δ) Το βιβλίο των Μαυρόπουλου, Καπετάνου, Γανωτόπουλου και Προβή, το οποίο γράφτηκε αρχικά για το Ενιαίο Πολυκλαδικό Λύκειο, χρησιμοποιήθηκε ως σχολικό βιβλίο στην Α΄τάξη του Γενικού Λυκείου από το 1989 ως το 1998.<sup>50</sup> Το εξώφυλλο της έκδοσης του 1989 παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.



**Εικόνα 7** Μαυρόπουλος Μ., Καπετάνου-Ζαμπετάκη Ε., Γανωτόπουλος Τ., Προβής Ν., ΧΗΜΕΙΑ Α Ε.Π.Λ., ΟΕΔΒ, 1989

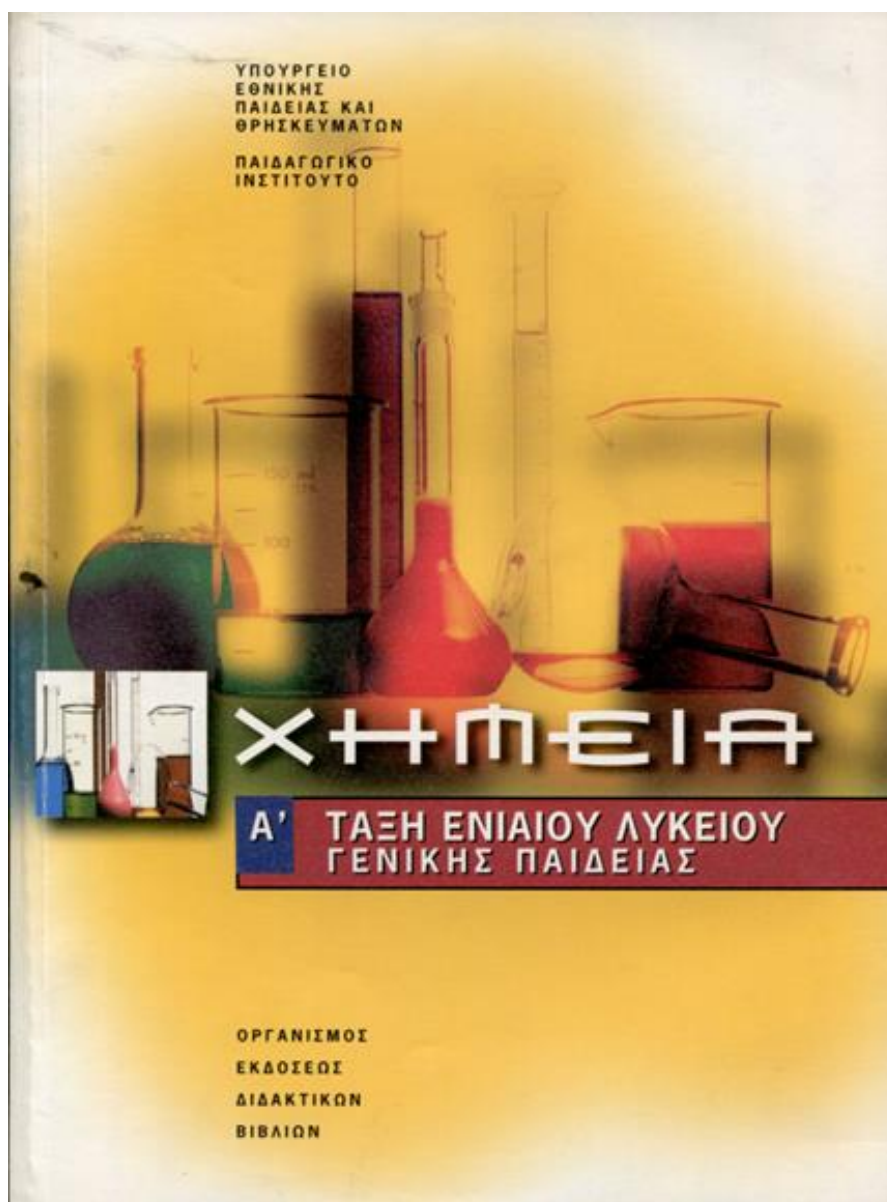


Ε) Το βιβλίο των Μαυρόπουλου και Καπετάνου χρησιμοποιήθηκε ως σχολικό βιβλίο για την Α΄ τάξη του Γενικού Λυκείου από το 1998 ως το 2001.<sup>51</sup> Το εξώφυλλο της έκδοσης του 1998 παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.

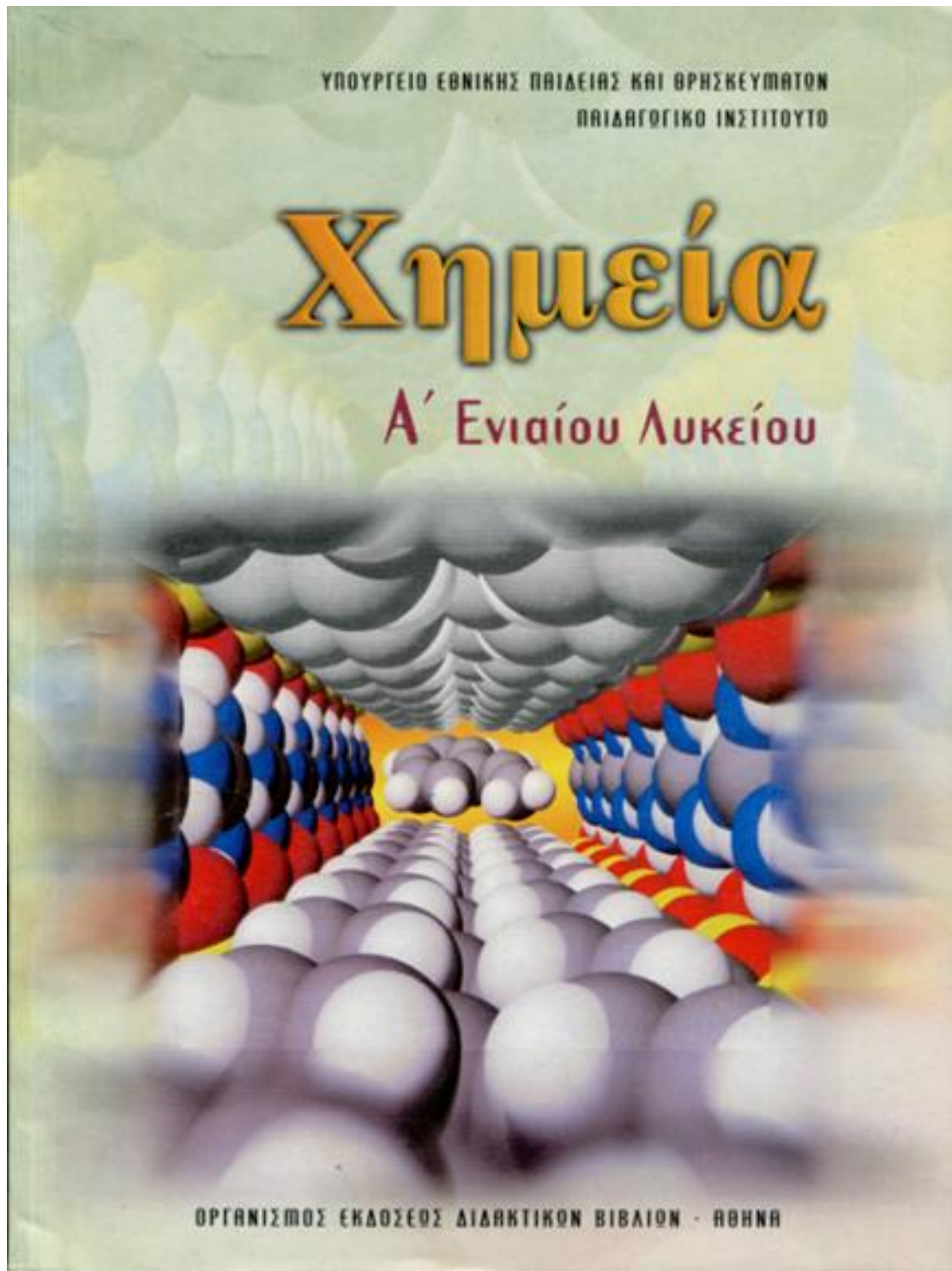


**Εικόνα 8** Μαυρόπουλος Α., Καπετάνου Ε., Χημεία Α ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 1998

ΣΤ) Τα 3 βιβλία των α) Μανουσάκη κ.α (ΣΤ1, εξώφυλλο της έκδοσης του 2000 παρουσιάζεται στην Εικόνα 9)<sup>52</sup> β) Τσίπη κ.α (ΣΤ2, εξώφυλλο της έκδοσης του 2000 παρουσιάζεται στην Εικόνα 10)<sup>53</sup> και γ) Λιοδάκη κ.α (ΣΤ3)<sup>54</sup> χρησιμοποιήθηκαν ως σχολικά βιβλία, με επιλογή του εκπαιδευτικού, στην Α΄ τάξη του Γενικού Λυκείου από το 1998 ως το 2001. Το 2001 το πολλαπλό βιβλίο καταργήθηκε και επιλέχτηκε ως σχολικό το βιβλίο των Λιοδάκη, Γάκη, Δ και Π Θεωδωρόπουλου, Κάλλη το οποίο χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα (2023). Το εξώφυλλο της έκδοσης του 2023 παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.



**Εικόνα 9** Κεφαλλωνίτης, Ι., Μανουσάκης Γ., Χρηστίδης. Β., ΧΗΜΕΙΑ Α ΤΑΞΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΟΕΔΒ, 2000



**Εικόνα 10** Τσίπης Κ., Βάρβογλης Α., Γιούρη-Τσοχατζή Α., Δερπάνης Δ., Παλαμιτζόγλου Π., Παπαγεωργίου Γ., Χημεία Α Ενιαίου Λυκείου, ΟΕΔΒ, 2000



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

# Χημεία



Α' ΛΥΚΕΙΟΥ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

**Εικόνα 11** Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Κάλλης Α.,  
Χημεία Α ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 2023





## 6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ Αποτελέσματα

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης των σχολικών βιβλίων, με βάση τα κριτήρια που καθορίστηκαν, φαίνονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2** Αποτελέσματα ανάλυσης των σχολικών βιβλίων

Κριτήρια	ΒΙΒΛΙΑ								
	A	B1	B2	Γ	Δ	Ε	ΣΤ1	ΣΤ2	ΣΤ3
Αναφέρεται η αρχή αφαθαρσίας της ύλης ή διατήρησης της μάζας του Lavoisier;	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI
Αναφέρεται ο νόμος σταθερών λόγων ή των απλών αναλογιών (Proust);	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI
Αναφέρεται ο νόμος των απλών πολλαπλασίων ή των πολλαπλών αναλογιών (Dalton);	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI
Γίνεται σύνδεση/ερμηνεία των νόμων με την ατομική θεωρία του Dalton;	OXI	NAI	NAI	OXI	-	-	-	-	-
Γίνεται σύνδεση των νόμων Proust και Dalton, με το νόμο του Gay Lussac;	OXI	NAI	NAI	OXI	-	-	-	-	-
Γίνεται αναφορά σε «ισοδύναμα βάρη» ή «γραμμοϊσοδύναμα» ;	OXI	OXI	NAI	NAI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI
Αναφέρεται το mole ως μονάδα «ποσότητας ουσίας» στο SI;	OXI	OXI	OXI	OXI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI

Κριτήρια	ΒΙΒΛΙΑ								
	A	B1	B2	Γ	Δ	Ε	ΣΤ1	ΣΤ2	ΣΤ3
Ποιος ορισμός του mole δίνεται; 1. Με βάση τον άνθρακα-12 2. Με βάση μαθηματική έκφραση $n=m/M_r$ ή $n = m/M$ 3. Με βάση τα σωματίδια $6,02 \times 10^{23}$	Δεν δίνεται ορισμός του mole	Mol = (MB)g $r^1$	Mol = (MB)gr ΚΑΙ (3)	(3)	(3)	(1)	(1)	(1) ΚΑΙ (3) <sup>2</sup>	(1)
Γίνεται διάκριση μεταξύ της σχετικής μοριακής μάζας ( $M_r$ ) και γραμμομοριακής ή μολαρικής μάζας ( $M$ );	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Στους τύπους που αναφέρονται και στα λυμένα παραδείγματα, γίνεται χρήση (1) της σωστής σχέσης $n = m/M$ ή (2) της λανθασμένης $n = m/M_r$ (3) Δεν αναφέρεται καμιά από τις δύο σχέσεις. Δεν χρησιμοποιούνται mole στη λύση ασκήσεων (4) Δεν αναφέρονται τύποι ή σχέσεις	3	3	3	4	2 <sup>3</sup>	2 <sup>4</sup>	2	1	2

Γ ρ α μ μ ό ρ ι ο ν στοιχείου ή χημικής ένωσης είναι ποσότης τοῦ στοιχείου ἢ τῆς χημικῆς ένωσης εἰς γραμμάρια ἴση πρὸς τὸ μοριακὸν βάρος, συμβολίζεται δὲ διὰ τοῦ Mol.

Σελ 12. Αν, Χημεία Λιώκης (1962)

<sup>2</sup> Το mole ορίζεται ως ποσότητα ουσίας και όχι μονάδα ποσότητας ουσίας. Χημεία Α Λυκείου Τσίπης και συνεργάτες, Σελ 135

<sup>3</sup> ΧΗΜΕΙΑ Α ΕΠΛ Μαυρόπουλος και συνεργάτες, Σελ 25

<sup>4</sup> Χημεία Α ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ (1998) Μαυρόπουλος και Καπετάνου, Σελ. 125

Κριτήρια	ΒΙΒΛΙΑ								
	A	B1	B2	Γ	Δ	Ε	ΣΤ1	ΣΤ2	ΣΤ3
Υπάρχει ορισμός της στοιχειομετρίας;	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ <sup>5</sup>	ΝΑΙ <sup>6</sup>	ΟΧΙ	ΝΑΙ <sup>7</sup>	ΝΑΙ
Συνδέεται η στοιχειομετρία με την αρχή διατήρησης της μάζας του Lavoisier;	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ;	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Αναφέρεται το $6,02 \times 10^{23}$ ως αριθμός/σταθερά του Avogadro;	ΝΑΙ	ΝΑΙ <sup>8</sup>	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Αναφέρεται ότι ο αριθμός του Avogadro έχει προσδιοριστεί/μετρηθεί πειραματικά;	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Αναφέρεται η μονάδα ατομικής μάζας ( $\text{amu} \rightarrow \text{u}$ ή $\text{Da}$ );	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Από τη μελέτη των εννέα (9) σχολικών βιβλίων που είναι όλα όσα χρησιμοποιήθηκαν ως σχολικά από το 1940 ως σήμερα στην Α Λυκείου ή στη

<sup>5</sup> Δίνεται ορισμός για στοιχειομετρικούς υπολογισμούς. ΧΗΜΕΙΑ Α ΕΠΛ Μαυρόπουλος και συνεργάτες, Σελ.80

<sup>6</sup> Δίνεται ορισμός για στοιχειομετρικούς υπολογισμούς. ΧΗΜΕΙΑ Α ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ (1998) Μαυρόπουλος και συνεργάτες, Σελ.128

<sup>7</sup> Δίνεται ορισμός για στοιχειομετρικούς υπολογισμούς Χημεία Α Λυκ. Τσίπης και συνεργάτες, Σελ 159

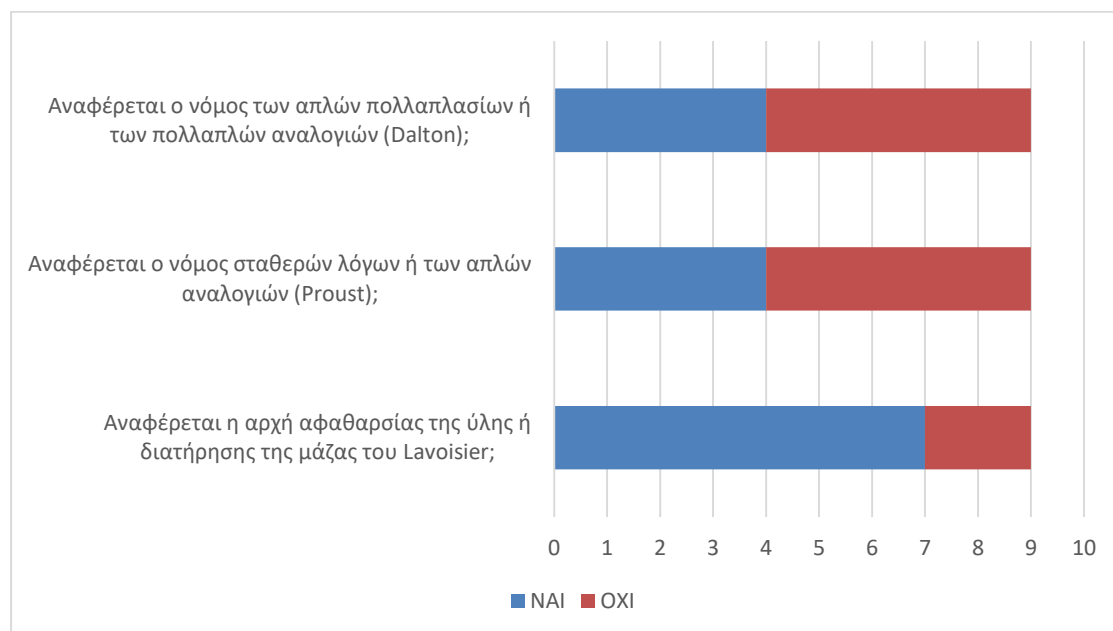
<sup>8</sup> Σελ 14. Αν, Χημεία Λιώκης (1962). Ο αριθμός Avogadro ταυτίζεται με τη σταθερά Loschmidt.

Ίσως προς 22,4 λίτρα, θα έμπεριέχρη τον αυτόν αριθμόν μορίων. Ο αριθμός αυτός, καλούμενος αριθμός του Avogadro ή Loschmidt και παριστώμενος δια του γράμματος N, ευρέθη ότι έχει την εξής τιμήν :

$$N = 6,06 \cdot 10^{23}$$

Δ και Ε Γυμνασίου, προκύπτουν αναλυτικότερα τα παρακάτω αποτελέσματα για καθένα από τα κριτήρια με βάση τα οποία αναλύθηκαν.

### 6.1 Αναφορά στους Νόμους της Χημείας



Σχήμα 1 Αναφορά στους νόμους της Χημείας

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 από τους νόμους της Χημείας

- Η αρχή αφαθαρσίας της ύλης του Lavoisier, αναφέρεται σε 7 από τα 9 σχολικά εγχειρίδια. Δεν αναφέρεται στα βιβλία των Τσίπη και συνεργατών (2000) και Λιοδάκη και συνεργατών (2019) στο κεφάλαιο της στοιχειομετρίας.
- Ο νόμος των απλών αναλογιών ή σταθερών λόγων του Proust αναφέρεται σε 4 από τα 9 βιβλία που χρησιμοποιούνταν έως το 1998. Δεν αναφέρεται σε όλα τα σχολικά εγχειρίδια που χρησιμοποιήθηκαν ή χρησιμοποιούνται από το 1998 μέχρι και σήμερα (Μαυρόπουλος και συνεργάτες 1989, Μαυρόπουλος και Καπετάνου 1998, Μανουσάκης και συνεργάτες 2000, Τσίπης και συνεργάτες 2000 Λιοδάκης και συνεργάτες 2023)
- Ο νόμος των απλών πολλαπλασίων ή των πολλαπλών αναλογιών του Dalton αναφέρεται σε 4 από τα 9 σχολικά βιβλία. Δεν αναφέρεται στα 5 πιο πρόσφατα όπως και ο νόμος του Proust.

- Από τα 4 βιβλία στα οποία αναφέρονται οι νόμοι Proust και Dalton στα 2 μόνο γίνεται ερμηνεία των νόμων αυτών με βάση την ατομική θεωρία του Dalton. Συγκεκριμένα αυτό γίνεται Στα βιβλία του Λιώκη που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα (1962 και 1978), ενώ δεν γίνεται καμιά σύνδεση ή ερμηνεία στα βιβλία των Λεονταρίτη (1952) και Σακελλαρίδη (1990).

Συγκεκριμένα στο βιβλίο του Λιώκη Ε΄ Γυμν. 1962 υπάρχει εξήγηση των θεμελιωδών νόμων της χημείας με βάση την ατομική θεωρία όπως φαίνεται στο απόσπασμα της Εικόνας 12.

Η ίδια εξήγηση υπάρχει και στην έκδοση του 1978 του ίδιου βιβλίου, με τη μόνη διαφορά ότι είχε μετατραπεί στη δημοτική. Το σχετικό απόσπασμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 13.

- Ο νόμος του Gay Lussac συνδέεται με την ατομική θεωρία και κατ' επέκταση με τους νόμους Proust και Dalton στα 2 από τα 4 βιβλία στα οποία αναφέρονται οι νόμοι αυτοί. Δεν γίνεται καμιά σύνδεση στα βιβλία του Λεονταρίτη (1952) και Σακελλαρίδη (1990) ενώ γίνεται αντίστοιχη σύνδεση στα βιβλία του Λιώκη (1962 και 1978).

Το σχετικό απόσπασμα από το βιβλίο του Λιώκη της έκδοσης του 1962 παρουσιάζεται στην Εικόνα 14. Η ίδια αναφορά υπάρχει στην έκδοση του 1978 του ίδιου βιβλίου με τη μόνη διαφορά τη μετατροπή σε δημοτική γλώσσα.

## ΕΞΗΓΗΣΙΣ ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

Οί νόμοι τῆς Χημείας δύνανται νὰ ἐξηγηθοῦν ἀπλούστατα διὰ τῆς ἀτομικῆς θεωρίας καὶ τοῦ νόμου τοῦ Avogadro, ὡς ἔπεται :

**Νόμος τῆς ἀφθαρσίας τῆς ὕλης.** — Ὅταν γίνεται μία ἀντίδρασις μεταξὺ διαφόρων σωμάτων, μόνον τὰ μόρια αὐτῶν ὑφίστανται μεταβολήν, τὰ ἄτομα ὅμως τῶν μορίων τούτων μένουں ἄθικτα καὶ ἀνασυντίθενται διὰ νὰ σχηματίσουν νέα μόρια, διάφορα τῶν ἀρχικῶν. Ἐφ' ὅσον δὲ τὰ ἄτομα ἐξ ὁρισμοῦ εἶναι ἀδιαίρετα καὶ ἀφθαρτα, ἔπεται ὅτι τὸ ἄθροισμα τῶν ἀτόμων, τὰ ὁποῖα λαμβάνουν μέρος εἰς μίαν ἀντίδρασιν, θὰ εἶναι ἴσον μὲ τὸ ἄθροισμα τῶν ἀτόμων τῶν προϊόντων τῆς ἀντιδράσεως. Τοῦτο ἐξηγεῖ τὸν νόμον τῆς ἀφθαρσίας τῆς ὕλης.

**Νόμος τῶν σταθερῶν λόγων.** — Ἐφ' ὅσον αἱ διαφοροὶ χημικαὶ ἐνώσεις ἀποτελοῦνται ἐκ μορίων ὁμοίων μεταξὺ των, ἔπεται ὅτι αἱ ἀναλογίαι τῶν βαρῶν τῶν στοιχείων, ἐκ τῶν ὁποίων ἀποτελεῖται ἡ ἐνωσις αὕτη, θὰ εἶναι αἱ αὐταὶ μὲ τὰς ἀναλογίας τῶν βαρῶν τῶν ἀτόμων, ἐκ τῶν ὁποίων ἀποτελεῖται ἓν μόριον αὐτῆς. Εἶναι δὲ τὰ βάρη τῶν ἀτόμων, ὡς γνωστόν, ἀμετάβλητα. Οὕτως ἐφ' ὅσον τὸ μόριον τοῦ ὕδατος ἀποτελεῖται ἐκ 2 ἀτόμων ὑδρογόνου βάρους 2 καὶ ἐξ ἑνὸς ἀτόμου ὀξυγόνου βάρους 16, ὁ λόγος τῶν βαρῶν τῶν στοιχείων τούτων θὰ εἶναι 2 : 16 ἢ 1 : 8. Τὸν λόγον αὐτὸν θὰ ἔχουν ἐπομένως καὶ τὰ βάρη ὑδρογόνου καὶ ὀξυγόνου οἵασδήποτε ποσότητος ὕδατος, ἀποτελουμένης ἐξ ἀκεραίου ἀριθμοῦ μορίων. Τοῦτο λέγει καὶ ὁ νόμος τῶν σταθερῶν λόγων.

**Νόμος τῶν ἀπλῶν πολλαπλασίων.** — Προκειμένου νὰ συγκρίνωμεν δύο χημικὰς ἐνώσεις, ἀποτελουμένας ἐκ τῶν αὐτῶν στοιχείων, π. χ. τὸ μονοξειδίον καὶ τὸ διοξειδίον τοῦ ἀνθρακος, ἀρκεῖ νὰ συγκρίνωμεν τὰ μόρια αὐτῶν. Τὸ μόριον τοῦ μονοξειδίου τοῦ ἀνθρακος ἀποτελεῖται ἀπὸ 1 ἄτομον ἀνθρακος βάρους 12 καὶ ἓν ἄτομον ὀξυγόνου βάρους 16. Διὰ νὰ σχηματίσωμεν μίαν ἄλλην ἐνωσιν ἐκ τῶν δύο τούτων στοιχείων, περιέχουσαν περισσότερον ὀξυγόνον, θὰ πρέπει νὰ λάβωμεν τοῦλάχιστον 1 ἄτομον ἐξ αὐτοῦ ἐπὶ πλεόν, ἐφ' ὅσον τὰ ἄτομα δὲν τέμνονται. Ἡ προσθήκη ὅμως ἑνὸς ἀτόμου ὀξυγόνου ἐπὶ πλεόν, διπλασιάζει τὴν ἀναλογίαν τοῦ στοιχείου τούτου, ἐνῶ ἡ ποσότης τοῦ ἀνθρακος μένει σταθερά. Οὕτως αἱ ἀναλογίαι τοῦ ἀνθρακος καὶ τοῦ ὀξυγόνου εἰς τὸ διοξειδίον τοῦ ἀνθρακος θὰ εἶναι 12 : 32 ἢ 12 : 2 × 16. Αὐτὸ ἀκριβῶς ἐκφράζει καὶ ὁ νόμος τῶν ἀπλῶν πολλαπλασίων.

## ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

Πολύ απλά μπορούν να εξηγηθούν οι νόμοι της Χημείας με την ατομική θεωρία και τό νόμο του Avogadro, όπως παρακάτω :

**Νόμος της αφθαρσίας της ύλης.** "Όταν γίνεται μια αντίδραση ανάμεσα σε διάφορα σώματα, μόνο τά μόριά τους παθαίνουν μεταβολή, τά άτομα όμως των μορίων αυτών, μένουν άθικτα και ξαναεπώνονται για νά σχηματίσουν νέα μόρια διαφορετικά από τά αρχικά. Άφού όμως τά άτομα όπως όρίστηκαν είναι άδιαίρετα και άφθαρτα είναι φανερό πως τό άθροισμα των ατόμων πού παίρνουν μέρος σε μία αντίδραση θά είναι ίσο μέ τό άθροισμα των ατόμων των προϊόντων της αντίδρασης. Αυτό, εξηγεί τό νόμο της αφθαρσίας της ύλης.

**Νόμος των σταθερών λόγων.** Άφού οι διάφορες χημικές ενώσεις αποτελούνται από μόρια όμοια μεταξύ τους είναι φανερό πως οι αναλογίες των βαρών των στοιχείων, πού αποτελούν την ένωση αυτή, θά είναι οι ίδιες μέ τις αναλογίες των βαρών των ατόμων, πού αποτελούν ένα μόριό της. Κι όπως ξέρουμε τά βάρη των ατόμων είναι άμετάβλητα. Έτσι, αφού τό μόριο του νερού αποτελείται από 2 άτομα ύδρογόνου μέ άθροισμα ατόμ. βαρ.  $1 + 1 = 2$  και από 1 άτομο όξυγόνου μέ ατόμ. βάρος 16 ο λόγος των βαρών των στοιχείων αυτών θά είναι  $2 : 16$  ή  $1 : 8$  και έπομένως τόν ίδιο λόγο θά έχουν και τά βάρη ύδρογόνου, και όξυγόνου όποιασδήποτε ποσότητας νερού, γιατί αποτελείται από άκέραιο αριθμό μορίων. Αυτό λέει κι ο νόμος των σταθερών λόγων.

**Νόμος των άπλών πολλαπλασίων.** "Όταν πρόκειται νά συγκρίνουμε δυό χημικές ενώσεις πού αποτελούνται από τά ίδια στοιχεία, π.χ. τό μονοξειδίο και τό διοξειδίο του άνθρακα, φτάνει νά συγκρίνουμε τά μόριά τους. Τό μόριο του μονοξειδίου του άνθρακα, αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα, πού έχει ατομικό βάρος 12 κι ένα άτομο όξυγόνου, πού έχει ατομικό βάρος 16. Για νά κάνουμε μία άλλη ένωση άπ' αυτά τά δυό στοιχεία, πού νά έχει περισσότερο όξυγόνο θά πρέπει νά πάρουμε τό λιγότερο ένα άτομο ακόμη όξυγόνο, αφού τά άτομα δέ διαιρούνται. Έη πρόσθεση όμως ενός ατόμου όξυγόνου παραπάνω διπλασιάζει την αναλογία αυτού του στοιχείου ενώ ή ποσότητα του άνθρακα, μένει σταθερή. Έτσι οι αναλογίες άνθρακα και όξυγόνου στό διοξειδίο του άνθρακα θά είναι  $12 : 32$  ή  $12 : 2 \times 16$ . Αυτό άκριβώς λέει κι ο νόμος των άπλών πολλαπλασίων.

**Νόμος τῶν ἀερίων ὀγκῶν:** — Συμφάνως πρὸς τὸν νόμον τοῦτον, ὅταν ἀέρια στοιχεῖα ἀντιδρῶντα σχηματίζουν ἀέριον προϊόν, ἡ σχέσις τῶν ὀγκῶν των εἶναι ἀπλῆ, ὁ δὲ ὀγκος τοῦ ἀερίου προϊόντος εἶναι διπλάσιος τοῦ ὀγκοῦ τοῦ ὑπὸ μικρότερον ὀγκον ἀντιδρῶντος ἀερίου. Κατὰ ταῦτα ἔχομεν :

1 λίτρον ὑδρογόνου + 1 λίτρον χλωρίου = 2 λίτρα ὑδροχλωρίου

2 λίτρα ὑδρογόνου + 1 λίτρον ὀξυγόνου = 2 λίτρα ὕδρατμοῦ

3 λίτρα ὑδρογόνου + 1 λίτρον ἀζώτου = 2 λίτρα ἀμμωνίας

Ἀλλὰ κατὰ τὸν νόμον τοῦ Ανογανδρὸ ἴσοι ὀγκοὶ ἀερίων ἐμπεριέχουν τὸν αὐτὸν ἀριθμὸν μορίων, ἐπομένως ἡ σχέσις τῶν μορίων τῶν ἀνωτέρω σωμάτων θὰ εἶναι ἡ ἑξῆς :

1 μόριον ὑδρογόνου + 1 μόριον χλωρίου = 2 μόρια ὑδροχλωρίου

2 μόρια ὑδρογόνου + 1 μόριον ὀξυγόνου = 2 μόρια ὕδρατμοῦ

3 μόρια ὑδρογόνου + 1 μόριον ἀζώτου = 2 μόρια ἀμμωνίας

Γνωρίζομεν ἀφ' ἑτέρου ὅτι τὰ στοιχεῖα ὑδρογόνον, χλώριον, ὀξυγόνον, ἀζωτον εἶναι διάτομα, ἤτοι ὅτι τὸ μόριόν των ἀποτελεῖται ἐκ 2 ἀτόμων. Ἐπομένως τὰς ἀνωτέρω ἀντιδράσεις δυνάμεθα νὰ παραστήσωμεν γραφικῶς ὡς ἀκολούθως :

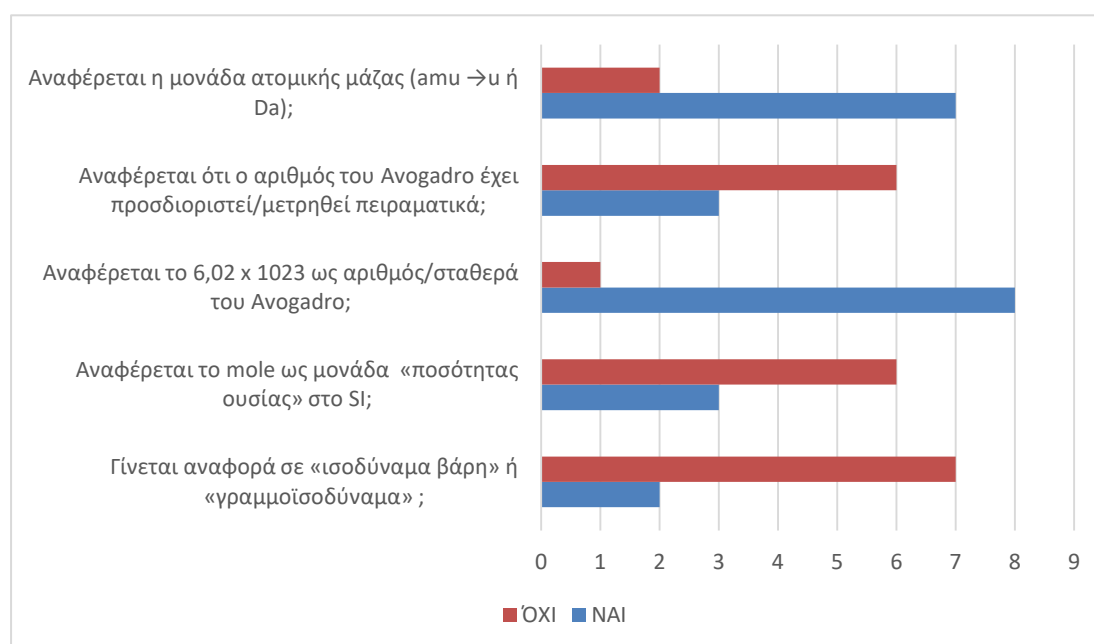


Ἐκ τῶν ἀνωτέρω παραδειγμάτων γίνεται εὐκόλως ἀντιληπτὴ ἡ ἀπλότης τῶν σχέσεων μεταξὺ τῶν ὀγκῶν τῶν ἀντιδρῶντων ἀερίων στοιχείων καὶ τῶν ἀερίων προϊόντων αὐτῶν. Ἐπὶ πλέον δὲ βλέπομεν εἰς τὰ παραδείγματα αὐτά, ὅτι ὁ ἀριθμὸς τῶν ἀτόμων τῶν διαφόρων στοιχείων εἶναι ὁ αὐτὸς πρὸ καὶ μετὰ τὴν ἀντίδρασιν, κατανοοῦμεν δὲ διατὶ εἰς τινὰς περιπτώσεις ἐπέρχεται συστολὴ ὀγκοῦ.

**Εικόνα 14** ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥ ΧΗΜΕΙΑΣ Ε ΓΥΜΝ Λ. ΛΙΩΚΗΣ 1962 σελ. 16



## 6.2 Αναφορά σε μεγέθη, μονάδες και σταθερές



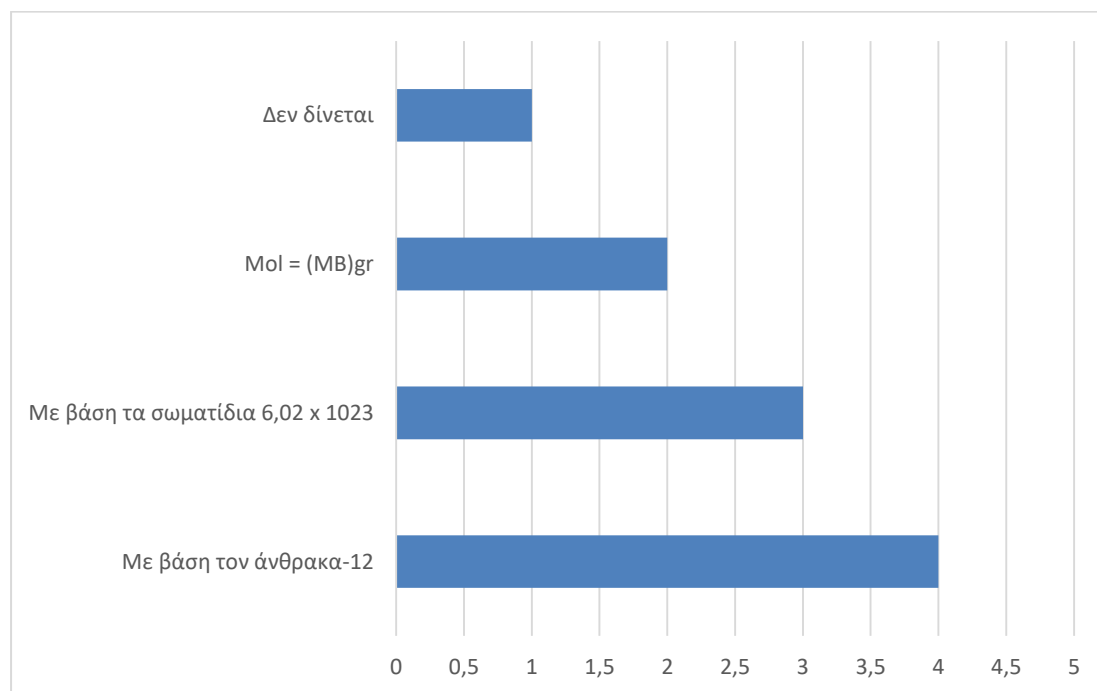
**Σχήμα 2** Αναφορά σε μεγέθη, μονάδες και σταθερές

Στο Σχήμα 2 απεικονίζονται οι κατανομές των αναφορών σχετικά με τα ισοδύναμα βάρη και το γραμμοϊσοδύναμο, του mole ως μονάδα της ποσότητας ουσίας, του αριθμού ή της σταθεράς του Avogadro και του πειραματικού προσδιορισμού του, και της μονάδας ατομικής μάζας. Συγκεκριμένα

- Τα ισοδύναμα βάρη και το γραμμοϊσοδύναμο ( $\text{gr-eq}$ , αναφέρεται σε 2 μόνο από τα 9 βιβλία. Συγκεκριμένα αναφέρονται και οι δύο έννοιες με τους αντίστοιχους ορισμούς στα βιβλία των Λιώκη (1978) και Σακελλαρίδη (1990). Εδώ να σημειωθεί ότι στο βιβλίο του Λιώκη παλιότερων εκδόσεων όπως του 1962 που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα, δεν αναφέρονται τα ισοδύναμα βάρη και το γραμμοϊσοδύναμο.
- Σε 3 από τα 9 βιβλία αναφέρεται με σαφήνεια ότι το mole είναι μονάδα της ποσότητας ουσίας στο S.I. (Μαυρόπουλος και συνεργάτες 1989, Μαυρόπουλος και Καπετάνου 1998 και Λιοδάκης και συνεργάτες 2023). Στο βιβλίο των Μανουσάκη και συνεργατών (2000) το mole αναφέρεται ως μονάδα του S.I. αλλά δεν διευκρινίζεται ποιού φυσικού μεγέθους είναι μονάδα.

- Ο αριθμός  $6,023 \cdot 10^{23}$  αναφέρεται ως αριθμός ή σταθερά του Avogadro στα 8 από τα 9 βιβλία. Το μόνο βιβλίο που αναφέρεται ο αριθμός  $6,023 \cdot 10^{23}$  αλλά δεν ορίζεται ως αριθμός Avogadro, είναι το βιβλίο του Σακελλαρίδη 1990.
- Σε 3 από τα 9 βιβλία που εξετάστηκαν αναφέρεται ότι ο αριθμός  $6,023 \cdot 10^{23}$  έχει προσδιοριστεί πειραματικά (Μαυρόπουλος και Καπετάνου 1998, Μανουσάκης και συνεργάτες 2000 και Λιοδάκης και συνεργάτες 2023). Δεν αναφέρει όμως κανένα βιβλίο, έστω ως παράδειγμα με ποια πειραματική διαδικασία προσδιορίστηκε αυτός ο αριθμός.
- Η μονάδα ατομικής μάζας (amu ή u ή Da) αναφέρεται σε 7 από τα 9 βιβλία. Δεν αναφέρεται στα 2 παλιότερα από αυτά που εξετάστηκαν και συγκεκριμένα στα βιβλία των Λεονταρίτη (1952) και Λιώκη (1962)

### 6.3 Ορισμός του mole

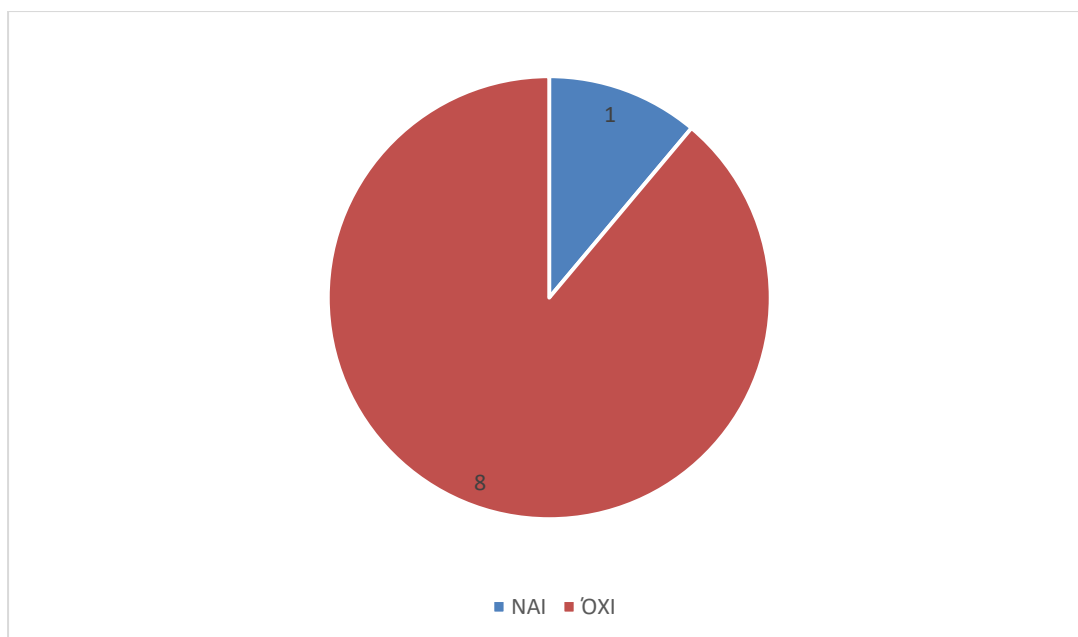


**Σχήμα 3** Διάφοροι ορισμοί του mole

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η κατανομή των διαφόρων ορισμών του mole που βρέθηκαν στα βιβλία του δείγματος.

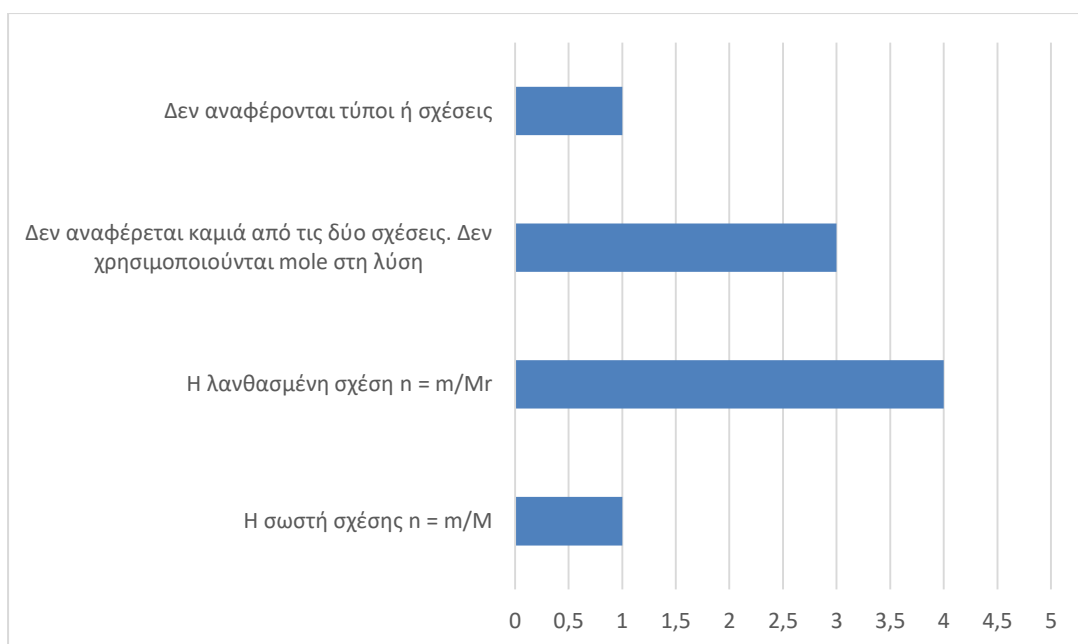
- Ως προς τον ορισμό του mole, στο πιο παλιό από τα βιβλία που εξετάστηκαν (Λεονταρίτης, 1952) δεν αναφέρεται η έννοια mole επομένως δεν υπάρχει ορισμός γι αυτό. Σε 2 βιβλία (Λιώκης 1962 και 1978) το mole ορίζεται ως το «Μοριακό βάρος εκφρασμένο σε γραμμάρια» δηλαδή,  $1 \text{ mol} = (\text{MB})\text{gr}$ . Στο βιβλίο του Λιώκη (1978) δίνεται ταυτόχρονα και ορισμός του mole με βάση τον αριθμό σωματιδίων (Avogadro). Από τα υπόλοιπα βιβλία σε 2 (Σακελλαρίδης 1990, Μαυρόπουλος και συνεργάτες 1989) δίνεται ορισμός του mole με βάση τον αριθμό Avogadro ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ), σε 3 (Μαυρόπουλος και Καπετάνου Α, 1998, Μανουσάκης και συνεργάτες 2000 και Λιοδάκης και συνεργάτες 2023) δίνεται ορισμός του mole με βάση τον  $^{12}\text{C}$  και σε 1 βιβλίο (Τσίπης και συνεργάτες 2000) δίνονται δύο ορισμοί για το mole, αυτός με βάση τον  $^{12}\text{C}$  και αυτός με βάση τον αριθμό σωματιδίων ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ). Η ποικιλία ορισμών, ιδιαίτερα στα πιο σύγχρονα βιβλία αποτυπώνει τη σύγχυση που είχε δημιουργηθεί γύρω από την έννοια του mole. Μάλιστα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ορισμοί στα σχολικά βιβλία, δεν ακολουθούν την χρονολογική την εξέλιξη των ορισμών της IUPAC, της IUPAP και του S.I.

#### 6.4 Διάκριση ανάμεσα στη σχετική μοριακή μάζα ( $M_r$ ) και στη «μολαρική μάζα» ( $M$ )



**Σχήμα 4** Αναφορά στη ςχετική μοριακή μάζα ( $M_r$ ) και στη «μολαρκική μάζα» ( $M$ )

Είναι εντυπωσιακό ότι μόνο σε 1 από τα 9 βιβλία, γίνεται διάκριση ανάμεσα στη ςχετική μοριακή μάζα ( $M_r$ ) η οποία είναι καθαρός αριθμός και στη «μολαρκική μάζα» ( $M$ ) η οποία έχει μονάδες  $\text{gr/mol}$  (Σχήμα 4). Αυτό είναι το βιβλίο των Τσίπη και ςυνεργατών 2000. Σε όλα τα υπόλοιπα βιβλία και ιδιαίτερα τα πιο ςύγχρονα όπως τα πολλαπλά βιβλία (1999) που θα ήταν αναμενόμενο να υπάρχει, δεν αναφέρεται η γραμμομοριακή ή μολαρκική μάζα.



**Σχήμα 5** Τύποι που χρησιμοποιούνται στα λυμένα παραδείγματα

Το Σχήμα 5 παρουσιάζει την κατανομή των σχέσεων (σωστών, λανθασμένων) που χρησιμοποιούνται στην επίλυση παραδειγμάτων ασκήσεων στοιχειομετρίας. Ως επέκταση της έλλειψης διάκρισης μεταξύ μολαρικής και σχετικής μοριακής μάζας μόνο στο βιβλίο των Τσίπη κλπ. 2000, αναφέρεται και χρησιμοποιείται η σωστή σχέση για την ποσότητα ουσίας  $n = m/M$  αντί της λανθασμένης  $n = m/M_r$  την οποία χρησιμοποιούν τα 4 βιβλία (Μαυρόπουλος και συνεργάτες 1989, Μαυρόπουλος και Καπετάνου 1998, Μανουσάκης και συνεργάτες 2000, Λιοδάκης και συνεργάτες 2023). Στα υπόλοιπα 4 βιβλία δεν αναφέρονται σχέσεις ή δεν χρησιμοποιούνται mole στη λύση ασκήσεων.

Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται παράδειγμα στο οποίο η σχετική μοριακή μάζα  $M_r$  εμφανίζεται να έχει μονάδες g/mol ενώ είναι καθαρός αριθμός.

Ο αριθμός mol ( $n$ ) που αντιστοιχεί σε μια ορισμένη μάζα μιας ουσίας προκύπτει ως εξής:

$$n = \frac{m \text{ (g)}}{M_r \text{ (g/mol)}} = \frac{m}{M_r} \text{ (mol)}$$

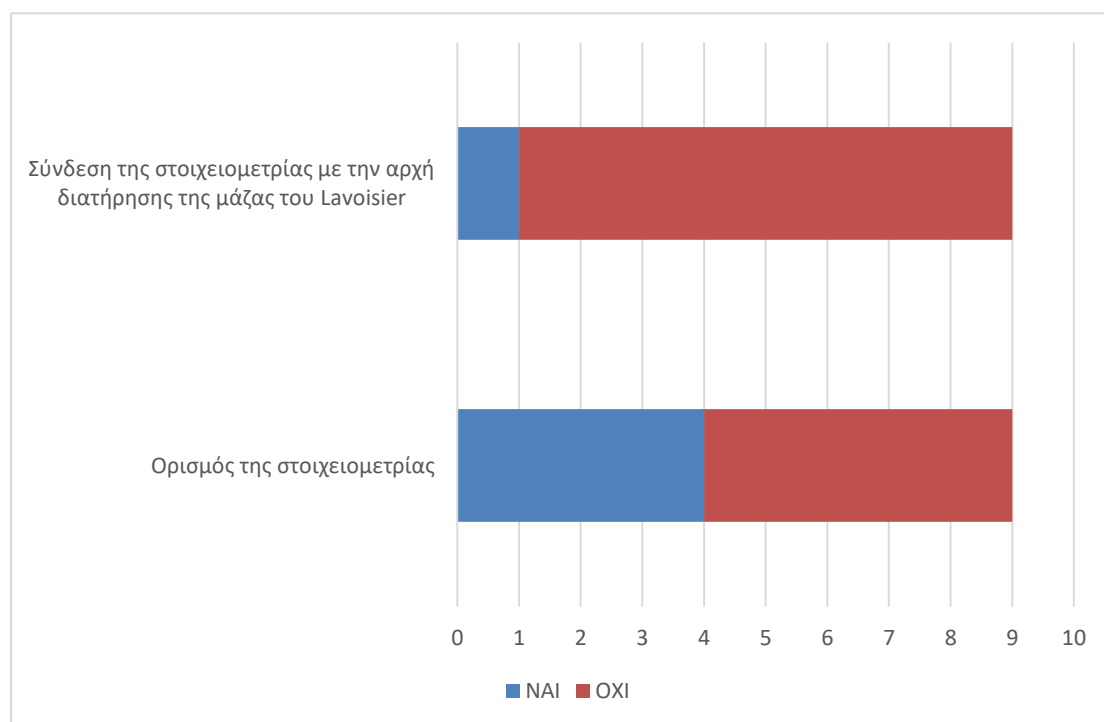
**Εικόνα 15** ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚ. Μανουσάκης κλπ. 2000 σελ. 114

Αντίθετα στο βιβλίο Χημεία Α Λυκείου Τσίπης και συνεργάτες (2000) που ήταν ένα από τα πολλαπλά βιβλία που χρησιμοποιήθηκαν από το 1999 ως το 2001 δίνεται ο ορισμός της μολαρικής μάζας και χρησιμοποιείται η σωστή σχέση για την ποσότητα ουσίας  $n$  (Εικόνα16).

<p>Η μάζα 1 mol οποιασδήποτε ουσίας (molar mass) συμβολίζεται με το γράμμα <math>M</math>.</p>	<p>Έτσι, για <math>n</math> mol μιας ουσίας, της οποίας το 1 mol ζυγίζει <math>M</math> g μπορούμε να γράψουμε:</p> $m = (n \text{ mol}) \left( \frac{M \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right)$ <p>Επίσης, μπορούμε να γράψουμε:</p> $n = (m \text{ g}) \left( \frac{1 \text{ mol}}{M \text{ g}} \right)$
--	--

**Εικόνα 16** Χημεία Α ΛΥΚ Τσίπης και συνεργάτες, 2000, σελ. 16

## 6.5 Παρουσίαση της στοιχειομετρίας



Σχήμα 6 Παρουσίαση της στοιχειομετρίας

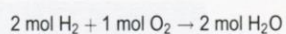
Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6 κατά την παρουσίαση της στοιχειομετρίας

- Σε 5 βιβλία (τα πιο σύγχρονα) δίνεται κάποιος ορισμός για τη στοιχειομετρία ή τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς (Μαυρόπουλος και συνεργάτες, 1989, Μαυρόπουλος και Καπετάνου, 1998, Μανουσάκης και συνεργάτες, 2000, Τσίπης και συνεργάτες, 2000, Λιοδάκης και συνεργάτες, 2023).
- Η στοιχειομετρία και οι σχετικοί υπολογισμοί συνδέονται με την αρχή διατήρησης της μάζας του Lavoisier σε 1 μόνο από τα βιβλία, το βιβλίο των Μανουσάκη και συνεργατών (2000), μέσω ενός παραδείγματος (Εικόνα 17).

### ενδιαφέρουσα επισήμανση

#### ••••• Επαλήθευση της αρχής διατήρησης μάζας

Ας μετατρέψουμε τη μάζα των ουσιών που εκφράζεται σε mol σε γραμμάρια (g) στη χημική εξίσωση



Για να κάνουμε κάτι τέτοιο, πρέπει να βρούμε τις σχετικές μοριακές μάζες των ουσιών με τον ακόλουθο τρόπο:

$$M_{r \text{ H}_2} = 2 \cdot A_{r \text{ H}} = 2 \cdot 1 = 2, \quad M_{r \text{ O}_2} = 2 \cdot A_{r \text{ O}} = 2 \cdot 16 = 32,$$

$$M_{r \text{ H}_2\text{O}} = 2 \cdot A_{r \text{ H}} + 1 \cdot A_{r \text{ O}} = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 16 = 18,$$

Για τα αντιδρώντα έχουμε:

$$2 \text{ mol H}_2, \text{ δηλαδή } 2 \text{ mol} \cdot \frac{2 \text{ g H}_2}{\text{mol}} = 4 \text{ g H}_2$$

$$1 \text{ mol O}_2, \text{ δηλαδή } 32 \text{ g O}_2 \text{ και συνολικά } 4 \text{ g} + 32 \text{ g} = 36 \text{ g.}$$

Για τα προϊόντα έχουμε:

$$2 \text{ mol H}_2\text{O}, \text{ δηλαδή } 2 \text{ mol} \cdot \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{\text{mol}} = 36 \text{ g H}_2\text{O}$$

Παρατηρείς λοιπόν ότι η μάζα των αντιδρώντων ισούται με τη μάζα των προϊόντων.

Εικόνα 17 ΧΗΜΕΙΑ Α ΕΝ ΛΥΚ Μανουσάκης και συνεργάτες, 2000, σελ. 126





## 7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ Συμπεράσματα - Προτάσεις

Οι ιστορικές αναφορές στα πρόσωπα και στους σταθμούς ανάπτυξης της επιστήμης της Χημείας δεν είναι μόνο ηθική υποχρέωση απέναντι στους επιστήμονες που θεμελίωσαν βασικές έννοιες της Χημείας αλλά επιτελούν και δύο άλλους πολύ σημαντικούς σκοπούς. Διευκολύνουν τους μαθητές στην προσέγγιση και κατανόηση των εννοιών καθώς η σχολική εμπειρία δείχνει ότι η προσοχή των μαθητών αυξάνεται κατακόρυφα όταν αναφέρονται στοιχεία από τη βιογραφία επιστημόνων και η πορεία που ακολούθησαν για να καταλήξουν στα συμπεράσματά τους.<sup>55, 56</sup> Ταυτόχρονα βοηθούν στην αντιμετώπιση της λανθασμένης αντίληψης των μαθητών ότι η επιστημονική γνώση προχωρά ευθύγραμμα χωρίς λάθη, πιασγυρίσματα αλλά και αντιπαραθέσεις μεταξύ των επιστημόνων.<sup>6, 57</sup>

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των σχολικών βιβλίων όσον αφορά τη στοιχειομετρία και τις σχετικές έννοιες μας οδηγούν σε ορισμένα σημαντικά, είτε γενικά είτε περισσότερο ειδικά συμπεράσματα.

Αρχικά διαπιστώθηκε η χρήση των ίδιων σχολικών βιβλίων για πολλά χρόνια με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ενσωματωθούν οι επιστημονικές εξελίξεις που συντελούνται. Από το 1940 μέχρι σήμερα, δηλαδή 83 χρόνια, έχουν χρησιμοποιηθεί 9 σχολικά βιβλία από τα οποία τα 4 χρησιμοποιήθηκαν ταυτόχρονα στα πλαίσια του πολλαπλού βιβλίου. Το βιβλίο του Λεονταρίτη χρησιμοποιήθηκε 19 χρόνια (1940 - 1959), το βιβλίο του Λιώκη χρησιμοποιήθηκε 20 χρόνια (1959 – 1979), ενώ το βιβλίο των Λιοδάκη και συνεργατών χρησιμοποιείται εδώ και 24 χρόνια (1999 – 2023). Στο γεγονός αυτό οφείλεται η καθυστερημένη ανταπόκριση του Ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος στην ιστορική αναδόμηση εννοιών και πιο συγκεκριμένα της στοιχειομετρίας που είναι το αντικείμενο της παρούσας έρευνας.

Μέχρι το 1998 τα σχολικά βιβλία παρουσίαζαν τον νόμο σταθερών λόγων ή των απλών αναλογιών (Proust), τον νόμο των απλών πολλαπλασίων ή των πολλαπλών αναλογιών (Dalton) χωρίς να συνδέονται με την ατομική θεωρία του Dalton από το 1940 έως το 1959. Η σύνδεση αυτή παρουσιάζεται από το 1959 έως το 1979 με την ατομική θεωρία να εξηγεί τους νόμους των

απλών και των πολλαπλών αναλογιών, δηλαδή σύμφωνα με την Lakatosian προσέγγιση<sup>5</sup>.

Η αρχή αφθαρσίας της μάζας του Lavoisier δεν αναφέρεται από το 2000 μέχρι σήμερα στην ενότητα της στοιχειομετρίας, επομένως δεν συνδέεται με αυτήν. Με αυτόν τον τρόπο, οι μαθητές τα τελευταία 20 χρόνια δεν μπορούν να αντιληφθούν το τρόπο θεμελίωσης της Χημείας ως επιστήμης και την θεωρητική βάση των στοιχειομετρικών υπολογισμών που καλούνται να εκτελέσουν καθημερινά.<sup>5, 27, 58</sup>

Η έννοια του mole εμφανίζεται στα σχολικά βιβλία το 1962 αλλά έως το 1978 ορίζεται ως το «μοριακό βάρος εκφρασμένο σε γραμμάρια» δηλαδή,  $1 \text{ mol} = (\text{MB})\text{gr}$ . Γεγονός που σημαίνει ότι μια σειρά μαθητές μετέπειτα εκπαιδευτικοί που δίδασκαν και διδάσκουν Χημεία είχαν εξοικειωθεί με τον ορισμό αυτό. Το 1990 εισήχθη ο ορισμός του mole με βάση τον αριθμό Avogadro ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ), αλλά συνυπάρχει με τον ορισμό του mole με βάση τον  $^{12}\text{C}$  χωρίς να ακολουθείται η χρονολογική εξέλιξη των ορισμών της IUPAC, της IUPAP και του S.I. Το mole ως μονάδα της ποσότητας ουσίας στο S.I. αναφέρεται με σαφήνεια μετά από το 1998 μέχρι σήμερα σε 3 βιβλία. Η ποικιλία ορισμών, ιδιαίτερα στα πιο σύγχρονα βιβλία αποτυπώνει τη σύγχυση που είχε δημιουργηθεί γύρω από την έννοια του mole καθώς έχει βρεθεί ότι οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές αντιλαμβάνονται το mole είτε ως μία μάζα, ή ως έναν όγκο ή/και ως έναν αριθμό (αριθμός Avogadro) στοιχειωδών οντοτήτων αντί για μια μονάδα SI.<sup>6,18</sup>

Σε πολλά από τα βιβλία υπάρχουν επιστημονικά σφάλματα ή σοβαρές ελλείψεις. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε την μη αναφορά της μοριακής μάζας (molar mass) σε όλα τα σχολικά βιβλία της τελευταίας περιόδου, εκτός από ένα το οποίο χρησιμοποιήθηκε μόνο μία σχολική χρονιά. Η σχετική μοριακή μάζα χρησιμοποιείται αδιάκριτα αντί για τη μοριακή μάζα, ενώ δεν εξηγείται γιατί συμπίπτουν αριθμητικά. Ως αποτέλεσμα της έλλειψης διάκρισης μεταξύ μοριακής και σχετικής μοριακής μάζας στα χρησιμοποιούμενα βιβλία εφαρμόζεται η λανθασμένη σχέση  $n = m/Mr$  αντί της σωστότερης  $n = m/M$  στην επίλυση των ασκήσεων.

Σε όλα τα σχολικά βιβλία που εξετάστηκαν, η θεμελίωση των εννοιών γίνεται χωρίς ή με ελάχιστες αναφορές (κυρίως στα παραρτήματα και όχι στο κύριο σώμα των κειμένων) στην ιστορική τους εξέλιξη. Έτσι οι μαθητές δεν κατανοούν τη βασανιστική πορεία της επιστημονικής κοινότητας, στη συγκεκριμένη περίπτωση των χημικών, για να καταλήξουμε στις σημερινές απόψεις για τις έννοιες που σχετίζονται με τη στοιχειομετρία.<sup>59</sup> Η νοηματοδότηση των εννοιών εμφανίζεται ως δεδομένη και αμετάβλητη. Η αμφιβολία και η κριτική στάση απέναντι σε αυτά που διδάσκονται δεν καλλιεργείται από τα σχολικά βιβλία. Αυτό δεν σημαίνει ότι είμαστε υπέρ της καλλιέργειας του επιστημονικού αγνωστικισμού. Γνωρίζουμε όλο και περισσότερα. Έχει βελτιωθεί και τεκμηριωθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η νοηματοδότηση των εννοιών. Όμως η κατάκτηση της γνώσης δεν είναι στατική αλλά δυναμική διαδικασία. Όλα μπορούν να αλλάξουν σε λίγα χρόνια. Επιπλέον, στην περίπτωση του mole φαίνεται ότι η απουσία ιστορικής γνώσης στη διδασκαλία της Χημείας εμποδίζει την ουσιαστική μάθηση, καθώς έχει προταθεί ότι η πολυπλοκότητα της έννοιας μαζί με την ανώμαλη εξέλιξή της στην ιστορία της Χημείας εξηγούν με κάποιο τρόπο τα προβλήματα και τις δυσκολίες που συναντώνται στη διδασκαλία και τη μάθησή της.<sup>6,14</sup>

Η κατανόηση των μαθητών για τις θεμελιώδεις έννοιες της στοιχειομετρίας βρίσκεται σε χαμηλό επίπεδο.<sup>5,27</sup> Αυτό καταδεικνύεται από την καθημερινή σχολική πραγματικότητα αλλά και από τις επιδόσεις των μαθητών σε θέματα εξετάσεων που απαιτούν εννοιολογική επεξεργασία και όχι μια φορμαλιστική – μαθηματική αντιμετώπιση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην χώρα αποτελεί η αποτυχία των υποψηφίων σε θέματα των πανελλαδικών εξετάσεων όπως το ερώτημα Δ<sub>3</sub> του 2020 (Εικόνα 18) το οποίο απαιτούσε γνώση και κατανόηση της πιο στοιχειώδους αρχής της υπολογιστικής χημείας, της αρχής της διατήρησης της μάζας.

**Δ3.** 4.480L CO μετρημένα σε STP μετατρέπονται σε κατάλληλες συνθήκες σε CH<sub>3</sub>COOH σύμφωνα με τη συνολική αντίδραση:



Τα παραπροϊόντα της (8) είναι υγρά και δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ούτε με το CH<sub>3</sub>COOH ούτε με το NaOH. Από το τελικό μείγμα των προϊόντων λαμβάνεται δείγμα 1g, το οποίο διαλύεται πλήρως σε 25 mL νερό, χωρίς μεταβολή του όγκου, και ογκομετρείται με διάλυμα NaOH 1 M. Αν απαιτήθηκαν 15 mL διαλύματος NaOH, τότε να υπολογιστεί:

i) Το ποσοστό του CH<sub>3</sub>COOH στα προϊόντα της αντίδρασης (8).

(μονάδες 4)

ii) Η συνολική ποσότητα του CH<sub>3</sub>COOH που παρήχθη σε kg από την αντίδραση (8).

(μονάδες 4)

**Μονάδες 8**

**Εικόνα 18** Ερώτημα Δ3 των θεμάτων Χημείας για τις Πανελλήνιες Εξετάσεις του 2020

Η πολυπλοκότητα των σχετικών με τη στοιχειομετρία εννοιών και τα προβλήματα νοηματοδότησης αυτών των εννοιών τόσο από τους μαθητές όσο και από τους εκπαιδευτικούς και ερευνητές έχει οδηγήσει την διεθνή κοινότητα των εκπαιδευτικών σε προτάσεις, προβληματισμό και συζήτηση για νέους ορισμούς του mole και του μεγέθους ποσότητα ουσίας.<sup>60</sup>

Με βάση τα συμπεράσματα της έρευνας για ένα συγκεκριμένο ζήτημα τη στοιχειομετρία και την επίδρασή της στα Ελληνικά σχολικά εγχειρίδια, μπορούμε να καταλήξουμε σε γενικότερες προτάσεις. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή δεν είναι η ιστορική ανασκόπηση ούτε η βιβλιοκριτική αλλά η συμβολή στη βελτίωση της διδασκαλίας και των σχολικών βιβλίων τόσο για το θέμα που εξετάζουμε, τη στοιχειομετρία και τις έννοιες που συνδέονται με αυτήν, αλλά και γενικότερα για τη χημεία στο λύκειο.

Προτείνεται η παρουσίαση της εξέλιξης των ιδεών στα σχολικά βιβλία καθώς και στοιχεία του ιστορικού πλαισίου και βιογραφικών στοιχείων των επιστημόνων, όχι μόνο ως ηθική υποχρέωση απέναντί τους αλλά ως στοιχείο που βοηθά στην κατανόηση της σημερινής νοηματοδότησης των εννοιών και στο ξεπέρασμα ενός ανούσιου και υπερβολικού υπολογιστικού φορμαλισμού που κρύβει την ουσία της χημείας. Η αύξηση της ιστορικότητας της

διδασκαλίας βοηθά επίσης τους μαθητές να κατανοήσουν το δυναμικό χαρακτήρα της εξέλιξης της επιστήμης.

Η επιστημονική τεκμηρίωση των εννοιών και η αποφυγή λαθών που πολλές φορές γίνονται στη προσπάθεια προσαρμογής «δύσκολων» εννοιών στο επίπεδο του λυκείου, είναι μια άλλη πρόταση. Τα βιβλία και κατ' επέκταση η διδασκαλία της στοιχειομετρίας, θα πρέπει να προσαρμοστούν στα σημερινά επιστημονικά δεδομένα και τους σύγχρονους ορισμούς. Αυτό αφορά έννοιες όπως το *mole*, τη μοριακή και τη σχετική μοριακή μάζα, τη σταθερά του Avogadro και την αριθμητική της τιμή κ.α. Η εγκατάσταση λανθασμένων αντιλήψεων στο μυαλό των μαθητών ανατρέπεται δύσκολα στις σπουδές τους στην τριτοβάθμια εκπαίδευση και είναι χειρότερη από την άγνοια. Βέβαια ας μην ξεχνάμε ότι εκτός από το σχολείο, πηγές του διαδικτύου που χρησιμοποιούν οι μαθητές μπορούν να ενισχύσουν τις λανθασμένες αντιλήψεις και τις δυσκολίες τους.<sup>61</sup>

Επίσης προτείνουμε να ενισχυθούν οι εννοιολογικές ερωτήσεις και ασκήσεις και να μειωθούν αντίστοιχα τα προβλήματα με πολλούς μαθηματικούς υπολογισμούς. Ταυτόχρονα θα πρέπει στα σχολικά βιβλία να περιλαμβάνονται εργαστηριακές ασκήσεις μέσω των οποίων μπορεί να γίνεται η προσέγγιση κάποιων εννοιών.

Τέλος είναι απαραίτητη η ανανέωση και αντικατάσταση των σχολικών βιβλίων σε σύντομα χρονικά διαστήματα ώστε να ενσωματώνουν τις νέες επιστημονικές εξελίξεις. Εδώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ηλεκτρονικό βιβλίο το οποίο ανανεώνεται πιο γρήγορα και με λιγότερο κόστος.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Πίνακας 3: Πίνακας ορολογίας με τις αντιστοιχίσεις των ελληνικών και ξενόγλωσσων όρων

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
General Conference on Weights and Measures	Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών
International Union of Pure and Applied Chemistry	Διεθνής Ένωση Θεωρητικής και Εφαρμοσμένης Χημείας
International Union of Pure and Applied Physics	Διεθνής Ένωση Θεωρητικής και Εφαρμοσμένης Φυσικής
National Institute of Standards and Technology	Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (ΗΠΑ)
Le Système International d'unités	Διεθνές Σύστημα Μονάδων





## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

### Ακρωνύμια και ανάπτυξή τους

CGPM	General Conference on Weights and Measures
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
IUPAP	International Union of Pure and Applied Physics
NIST	National Institute of Standards and Technology
S.I.	Le Système International d'unités



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι Κριτήρια και κωδικοποίηση

Κριτήρια	Κωδικοποίηση
Αναφέρεται η αρχή αφαθαρσίας της ύλης ή διατήρησης της μάζας του Lavoisier;	Ναι - Όχι
Αναφέρεται ο νόμος σταθερών λόγων ή των απλών αναλογιών (Proust);	Ναι - Όχι
Αναφέρεται ο νόμος των απλών πολλαπλασίων ή των πολλαπλών αναλογιών (Dalton);	Ναι - Όχι
Γίνεται σύνδεση/ερμηνεία των νόμων με την ατομική θεωρία του Dalton;	Ναι - Όχι
Γίνεται σύνδεση των νόμων Proust και Dalton, με το νόμο του Gay Lussac;	Ναι - Όχι
Γίνεται αναφορά σε «ισοδύναμα βάρη» ή «γραμμοϊσοδύναμα» ;	Ναι - Όχι
Αναφέρεται το mole ως μονάδα «ποσότητας ουσίας» στο SI;	Ναι - Όχι
Ποιος ορισμός του mole δίνεται;	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Με βάση τον άνθρακα-12</li> <li>2. Με βάση μαθηματική έκφραση <math>n=m/M_r</math> ή <math>n = m/M</math></li> <li>3. Με βάση τα σωματίδια <math>6,02 \times 10^{23}</math></li> <li>4. <math>Mol = (MB)gr</math></li> <li>5. Δεν βρέθηκε ορισμός</li> </ol>
Γίνεται διάκριση μεταξύ της σχετικής μοριακής μάζας ( $M_r$ ) και γραμμομοριακής ή μολαρικής μάζας ( $M$ );	Ναι - Όχι
Στους τύπους που αναφέρονται και στα λυμένα παραδείγματα, γίνεται χρήση	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) της σωστής σχέσης <math>n = m/M</math> ή</li> <li>(2) της λανθασμένης <math>n = m/M_r</math></li> </ol>

Κριτήρια	Κωδικοποίηση
(1) της σωστής σχέσης $n = m/M$ , (2) της λανθασμένης $n = m/Mr$ , 3) Δεν αναφέρεται καμιά από τις δύο σχέσεις. Δεν χρησιμοποιούνται mole στη λύση ασκήσεων, (4) Δεν αναφέρονται τύποι ή σχέσεις	(3) Δεν αναφέρεται καμιά από τις δύο σχέσεις. Δεν χρησιμοποιούνται mole στη λύση ασκήσεων (4) Δεν αναφέρονται τύποι ή σχέσεις
Υπάρχει ορισμός της στοιχειομετρίας;	Ναι - Όχι
Συνδέεται η στοιχειομετρία με την αρχή διατήρησης της μάζας του Lavoisier;	Ναι - Όχι
Αναφέρεται το $6,02 \times 10^{23}$ ως αριθμός/σταθερά του Avogadro;	Ναι - Όχι

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II Βιβλία που αναλύθηκαν**

1. Λεονταρίτης Δ. Χημεία διά την Ε τάξιν των Γυμνασίων, ΟΕΣΒ, 1952
2. Λιώκης Λ. Στοιχεία Ανοργάνου διά την Ε τάξιν των Γυμνασίων, ΟΕΣΒ, 1962
3. Λιώκης Λ. ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΕΙΑ Α και Β ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 1978
4. Σακελλαρίδης Π. ΧΗΜΕΙΑ Α τάξη ΛΥΚΕΙΟΥ, Ίδρυμα Ευγενίδου, 1990
5. Μαυρόπουλος Μ., Καπετάνου-Ζαμπετάκη Ε., Γανωτόπουλος Τ., Προβής Ν., ΧΗΜΕΙΑ Α Ε.Π.Λ., ΟΕΔΒ, 1989
6. Μαυρόπουλος Α., Καπετάνου Ε., Χημεία Α ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 1998
7. Κεφαλλωνίτης, Ι., Μανουσάκης Γ., Χρηστίδης Β., ΧΗΜΕΙΑ Α ΤΑΞΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, 2000
8. Τσίπης Κ., Βάρβογλης Α., Γιούρη-Τσοχατζή Α., Δερπάνης Δ., Παλαμιτζόγλου Π., Παπαγεωργίου Γ., Χημεία Α Ενιαίου Λυκείου, ΟΕΔΒ, 2000
9. Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Κάλλης Α., Χημεία Α ΛΥΚΕΙΟΥ, ΟΕΔΒ, 2023



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. S. Toulmin, *Human understanding—vol I: the collective use and evolution of concepts*. Princeton University Press, 1972.
2. T.S. Kuhn, *The structure of scientific revolutions*. The University of Chicago Press, 1962.
3. IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). Online version (2019-) created by S. J. Chalk. ISBN 0-9678550-9-8. <https://doi.org/10.1351/goldbook>
4. K. Fujii, The Berthollet-Proust Controversy and Dalton's Chemical Atomic Theory 1800–1820, *British Journal for the History of Science*, vol. 19, no. 2, 1986, pp.177–200.
5. M. Niaz, How important are the laws of definite and multiple proportions in chemistry and teaching chemistry?—A history and philosophy of science perspective. *Science & Education*, vol. 10, no. 3, 2001, pp.243-266.
6. K. Padilla and C. Furio-Mas, The importance of history and philosophy of science in correcting distorted views of 'amount of substance' and 'mole' concepts in chemistry teaching. *Science & Education*, vol. 17, no. 4, April 2008, pp. 403-424.
7. G. Gorin, Mole and chemical amount: A discussion of the fundamental measurements of chemistry. *Journal of Chemical Education*, vol. 71, no. 2, 1994, pp.114.
8. W. B. Jensen, The origin of the mole concept. *Journal of Chemical Education*, vol. 81, no. 10, 2004, pp.1409.
9. M. J. T. Milton and I. M. Mills, Amount of substance and the proposed redefinition of the mole. *Metrologia*, vol. 46, no. 3, 2009, pp.332-338.

- 10.M. Sarikaya, A view about the short histories of the mole and Avogadro's number. *Foundations of Chemistry*, vol. 15, no. 1, 2013, pp.79-91.
- 11.NIST (National Institute of Standards and Technology), Fundamental Physical Constants: Values of Fundamental Physical Constants, <https://www.nist.gov/pml/fundamental-physical-constants> (πρόσβαση 23/05/2023)
- 12.M. Καραγιάννης, (2022) Charles-Adolphe Wurtz: Πρακτικά του πρώτου συνεδρίου χημείας στην Καρλσρούη, *Χημικά Χρονικά*, τόμος 84, τεύχος 9, 2022, σελ. 5-15.
- 13.K. Μανωλκίδης και Κ. Μπέζας, *Ανόργανη Χημεία*, 14<sup>η</sup> εκδ., 1984.
- 14.C. Furio, R. Azcona, J. Guisasola, and M. Ratcliffe, Difficulties in teaching the concepts of amount of substance and mole. *International Journal of Science Education*, vol. 22, no. 12, 2000, pp.1285-1304.
- 15.B. BIPM, *The International System of Units (SI Brochure). Appendix 2: Practical realizations of the definitions of some important units—Mises en pratique, Mise en pratique for the definition of the metre in the SI*, 2019.
- 16.S. C. Fang, C. Hart, and D. Clarke, Identifying the critical components for a conceptual understanding of the mole in secondary science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 53, no. 2, 2016, pp.181-214.
- 17.P. Bievre and H. S. Peiser, Atomic weight- the name, its history, definition, and units. *Pured and Applied Chemistry*, vol. 64, no. 10, 1992, pp.1535–1543.
- 18.S. C. Fang, C. Hart, and D. Clarke, Unpacking the meaning of the mole concept for secondary school teachers and students. *Journal of Chemical Education*, vol. 91, no. 3, 2014, pp.351-356.



19. A. M. Michałowska-Kaczmarczyk, A. G. Asuero, and T. Michałowski, "Why Not Stoichiometry" versus "Stoichiometry—Why Not?" Part I: General Context, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, vol. 45, no. 2, 2015, pp.166-188,
20. C. J. Giunta, The mole and amount of substance in chemistry and education: beyond official definitions. *Journal of Chemical Education*, vol. 92, no. 10, 2015, pp.1593-1597.
21. K. Schmidt-Rohr, Analysis of Two Definitions of the Mole That Are in Simultaneous Use, and Their Surprising Consequences. *Journal of Chemical Education*, vol. 97, no. 3, 2020, pp.597-602
22. A. I. Boldyrev and L. S. Wang, Beyond classical stoichiometry: experiment and theory. *The Journal of Physical Chemistry A*, vol. 105, no. 48, 2001, pp.10759-10775.
23. M. Khine, *Critical analysis of science textbooks. Evaluating instructional effectiveness*, Springer, 2013.
24. K. Davila and V. Talanquer, Classifying end-of-chapter questions and problems for selected general chemistry textbooks used in the United States *Journal of Chemical Education*, vol. 87, no. 1, 2010, pp. 97-101.
25. K. C. de Berg, Textbook analysis of the mole and its underlying concepts. A teaching-learning perspective. *Australian Science Teachers Journal*, vol. 31, no. 4, 1986, pp.33–43.
26. J. R. Staver and A. T. Lumpe, A content analysis of the presentation of the mole concept in chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, no. 4, 1993, pp.321-337.
27. R. Cervellati, A. Montuschi, D. Perugini, N. Grimellini-Tomasini, and B.P. Balandi, Investigation of secondary school students' understanding of the mole concept in Italy. *Journal of Chemical Education*, vol. 59, no. 10, 1982, pp.852-856.

28. P. de Bièvre, CCQM owes chemists a description of the concept 'amount of substance'. *Accreditation and Quality Assurance*, vol. 19, no. 4, 2014, pp.323-325.
29. B. Pekdağ and N. Azizoğlu, Semantic mistakes and didactic difficulties in teaching the "amount of substance" concept: a useful model. *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 14, no. 1, 2013, pp.117-129.
30. H. Strömdahl, A. Tullberg, and L. Lybeck, The qualitatively different conceptions of 1 mol. *International Journal of Science Education*, vol. 16, no. 1, 1994, pp.17-26.
31. A. Tullberg, H. Strömdahl, and L. Lybeck, Students' conceptions of 1 mol and educators' conceptions of how they teach 'the mole'. *International Journal of Science Education*, vol. 16, no. 2, 1994, pp.145-156.
32. K. Gavroglu, Textbooks of the Physical Sciences and the History of Science: A Problematic Coexistence. In *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom*, P.V. Kokkotas, et al. eds., Brill, 2011, pp. 55-59.
33. M. Niaz, Teaching general chemistry: A history and philosophy of science approach. Nova Publishers, 2008.
34. D. M. López-Valentín, An Empirical View of the Teaching of the Chemical Element Concept. In *Teaching Science with Context*, M. E. B. Prestes & C. C. Silva, eds., Springer, 2018, pp. 265-275.
35. Euricon Ε.Π.Ε. Κριτήρια αξιολόγησης και αξιοποίησης εκπαιδευτικού υλικού, Ο.Ε.Π.ΕΚ, 2008.
36. Π. Κ. Στασινάκης και Δ. Κολιόπουλος, Ανάλυση εγχειριδίων βιολογίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: Η περίπτωση της έννοιας της θρέψης φυτών και ζώων, *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, τόμος 2, τεύχος 1-2, 2007, σελ. 103-125.

37. S. Agung and M. S. Schwartz, Students' understanding of conservation of matter, stoichiometry and balancing equations in Indonesia, *International Journal of Science Education*, vol. 29, no. 3, 2007, pp.1679–1702.
38. S. BouJaoude and H. Barakat, Students' problem-solving strategies in stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. *The Electronic Journal for Research in Science and Mathematics Education*, vol. 7, no. 3, Mar. 2003
39. C. Dahsah and R. K. Coll, Thai Grade 10 and 11 students' conceptual understanding and ability to solve stoichiometry problems. *Research in Science and Technological Education*, vol. 25, no. 2, 2007, pp.227-241.
40. H. J. Schmidt, An alternate path to stoichiometric problem solving. *Research in Science Education*, vol. 27, no. 2, 1997, pp.237-249.
41. M. Niaz and L. A. Montes, Understanding stoichiometry: Towards a history and philosophy of chemistry. *Educación Química*, 23, May 2012, pp.290-297.
42. K. Salta and C. Tzougraki, Conceptual versus Algorithmic Problem-solving: Focusing on Problems dealing with Conservation of Matter in Chemistry. *Research in Science Education*, vol. 41, no. 4, 2011, pp.587-609.
43. J. R. Staver and A. T. Lumpe, Two investigations of students' understanding of the mole concept and its use in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 32, no. 2, 1995, pp.177-193.
44. F. Pingel, *UNESCO guidebook on textbook research and textbook revision* (2nd revised and updated edition), UNESCO, 2010.
45. Ο. Καλιόζη, *Ανάλυση των δραστηριοτήτων των σχολικών εγχειριδίων Φυσικής του Λυκείου ως προς τα χαρακτηριστικά της*

γνώσης, τις επιστημονικές πρακτικές και τη μαθησιακή απαίτηση, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Επιστημών της Προσχολικής Αγωγής και του Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2017.

- 46.Λεονταρίτης Δ. *Χημεία διά την Ε τάξιν των Γυμνασίων*, ΟΕΣΒ,1952
- 47.Λιώκης Λ. *Στοιχεία Ανοργάνου διά την Ε τάξιν των Γυμνασίων*, ΟΕΣΒ,1962
- 48.Λιώκης Λ. *ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΕΙΑ Α και Β ΛΥΚΕΙΟΥ*, ΟΕΔΒ,1978
- 49.Σακελλαρίδης Π. *ΧΗΜΕΙΑ Α τάξη ΛΥΚΕΙΟΥ*, Ίδρυμα Ευγενίδου, 1990
- 50.Μαυρόπουλος Μ., Καπετάνου-Ζαμπετάκη Ε., Γανωτόπουλος Τ., Προβής Ν., *ΧΗΜΕΙΑ Α Ε.Π.Λ.*, ΟΕΔΒ, 1989
- 51.Μαυρόπουλος Α., Καπετάνου Ε., *Χημεία Α ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ*, ΟΕΔΒ, 1998
- 52.Κεφαλλονίτης, Ι., Μανουσάκης Γ., Χρηστίδης Β., *ΧΗΜΕΙΑ Α ΤΑΞΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ*, 2000
- 53.Τσίπης Κ., Βάρβογλης Α., Γιούρη-Τσοχατζή Α., Δερπάνης Δ., Παλαμιτζόγλου Π., Παπαγεωργίου Γ., *Χημεία Α Ενιαίου Λυκείου*, ΟΕΔΒ, 2000
- 54.Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Κάλλης Α., *Χημεία Α ΛΥΚΕΙΟΥ*, ΟΕΔΒ, 2023
- 55.H. Lin, The Effectiveness of Teaching Chemistry through the History of Science, *Journal of Chemical Education*, vol. 75, no. 10, 1998, pp.1326- 1330.
- 56.A.M.P. de Carvalho and A.I. Vannucchi, History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to ``How?“. *Science & Education*, vol. 9, no. 5, 2000, pp.427-448.
- 57.M. Niaz and M. A. Rodriguez Do We Have to Introduce History and Philosophy of Science or Is It Already ‘Inside’ Chemistry? *Chemistry Education: Research and Practice*, vol. 2, no. 2, 2001, pp.159-164.

- 58.S. DeMeo, Making assumptions explicit: how the law of conservation of matter can explain empirical formula problems. *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 8, 2001, pp.1050.
- 59.V. I. Kuznetsov, From the History to the Theory of Scientific Development: Following the Leader. *Russian Studies in Philosophy*, vol. 44, no. 3, 2005, pp.22-35.
- 60.R. Marquardt, J. Meija, Z. Mester, M. Towns, R. Weir, R. Davis, and J. Stohner, A critical review of the proposed definitions of fundamental chemical quantities and their impact on chemical communities (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, vol. 89, no. 7, 2017, pp.951-981.
- 61.S. W. Rees and M. Bruce, Inconsistent Language Use in Online Resources Explaining the Mole Has Implications for Students' Understanding. *Journal of Chemical Education*, vol. 99, no. 7, 2022, pp.2446-2450.