

# Διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη θέση Χημικής Ισορροπίας με την εφαρμογή της προσομοίωσης PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07)

Θεόδωρος Χαραλάμπης – Χημικός ΠΕ04.02  
Εκπαιδευτικός Μέσης Εκπαίδευσης – 7<sup>ο</sup> ΓΕΛ Αθηνών

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Χημική Ισορροπία είναι μία έννοια η οποία δύσκολα γίνεται κατανοητή από τους μαθητές και τους φοιτητές και η διδασκαλία της με τις παραδοσιακές τεχνικές έχει αποδειχτεί αναποτελεσματική καθώς δεν συμβάλει στην πλήρη κατανόησή της και στην οικοδόμηση σωστών αντιλήψεων.

Στο παρόν άρθρο γίνεται παρουσίαση της χρήσης στο πλαίσιο του μαθήματος ΧΗΜΕΙΑΣ της Γ Τάξης γενικού λυκείου της Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών και Σπουδών Υγείας της προσομοίωσης PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07). Οι μαθητές/ήτριες αξιοποιώντας την συγκεκριμένη προσομοίωση πραγματοποιούν εικονικά πειράματα (αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού, *experimentation interactivity*) με στόχο τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη θέση Χημικής Ισορροπίας και του τρόπου που αυτοί την επηρεάζουν. Το όφελος που προσκομίζουν οι μαθητές/ήτριες καθορίζεται από τη διαφορά της επίδοσης τους σε ένα κριτήριο αξιολόγησης που συμπληρώνουν πριν και μετά την παρέμβαση.

Ο σχεδιασμός της προτεινόμενης δραστηριότητας στηρίχτηκε στην Επαγωγική μέθοδο (*Inductive approach*) ως μοντέλου διδασκαλίας με σκοπό μέσα από την ενεργή συμμετοχή των μαθητών/ητριών και την αλληλεπίδραση με την προσομοίωση αφενός να οικοδομήσουν οι ίδιοι/ες την προσωπική γνώση και αφετέρου να εφαρμόσουν επιτυχώς τη γνώση αυτή, ζητούμενο για την ολοκλήρωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Προσομοίωση, αλληλεπίδραση, χημική ισορροπία

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι φυσικές επιστήμες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος όλων των προγραμμάτων σπουδών στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση, καθώς επιτρέπουν στον άνθρωπο την απόκτηση νέας γνώσης για τη φύση και τον κόσμο που τον περιβάλλει. Με τη γνώση αυτή ο άνθρωπος μπορεί να περιγράψει και να ερμηνεύσει τα φυσικά φαινόμενα αλλά και να προβεί σε προβλέψεις για την εξέλιξή τους χρησιμοποιώντας έννοιες, νόμους και θεωρίες.

Πολλές χώρες, ήδη από τη δεκαετία του '60 και επί σειρά ετών, προχώρησαν σε συνεχείς προσπάθειες αναμόρφωσης και βελτίωσης των προγραμμάτων σπουδών τους με πολλαπλούς στόχους. Όπως, για παράδειγμα, την αύξηση του ενδιαφέροντος, τη βελτίωση της επίδοσης των μαθητών και την προσέγγιση μεγαλύτερου αριθμού μαθητών που θα επιλέξουν σπουδές σχετικές με τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία. Η ανάπτυξη της Γνωστικής Ψυχολογίας και της Θεωρίας του Εποικοδομητισμού συνέβαλαν ώστε να γίνει ευρέως αποδεκτό ότι η γνώση δεν μεταδίδεται «έτοιμη» από τον εκπαιδευτικό προς τους μαθητές, αλλά ότι εκείνοι πρέπει να βρεθούν στο κατάλληλο μαθησιακό περιβάλλον που θα τους επιτρέψει, μέσα από την αλληλεπίδραση τους με αντικείμενα και υλικά στο πλαίσιο κατάλληλων μαθησιακών δραστηριοτήτων, να οικοδομήσουν με προσωπικό τρόπο τη νέα επιστημονική γνώση.

Αναδεικνύεται με αυτόν τον τρόπο η σημασία της εφαρμογής της «Επαγωγική μέθοδος» (*Inductive approach*) ως μεθόδου διδασκαλίας, μίας «από κάτω προς τα πάνω» προσέγγισης που ως αφετηρία για τη μάθηση θέτει την παρατήρηση, τον πειραματισμό και γενικότερα την ενεργό συμμετοχή των μαθητών σε δραστηριότητες που τους επιτρέπουν, με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού, να διευρύνουν το εμπειρικό πεδίο αναφοράς τους, να δημιουργήσουν νέες νοητικές αναπαραστάσεις και σταδιακά να οικοδομήσουν την προσωπική, νέα επιστημονική γνώση.

Υπό το πρίσμα αυτό, διαφοροποιείται ο ρόλος της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες, ο οποίος δεν περιορίζεται πλέον στο να μάθουν απλώς οι μαθητές γνώσεις και να μπορούν να ανακαλούν ειδικούς όρους, να απομνημονεύουν μεμονωμένα δεδομένα ή να επαναλαμβάνουν μία θεωρία που διδάχθηκαν. Στα αναμορφωμένα προγράμματα σπουδών επισημαίνεται η ανάγκη οι φυσικές επιστήμες να βοηθήσουν στη διαμόρφωση επιστημονικά εγγράμματων πολιτών, ενημερωμένων, ευαισθητοποιημένων, ενεργών και με κριτική σκέψη. Ο σκοπός της νέας προσέγγισης δεν είναι να γίνουν όλοι επιστήμονες, αλλά να μπορούν να διαβάζουν και να καταλαβαίνουν με επάρκεια σχετικά άρθρα στον Τύπο, να παρακολουθούν συζητήσεις, να αντιμετωπίζουν κριτικά τις πληροφορίες που τους δίνονται,

να διακρίνουν την επιστημονική γνώση από την παρα-επιστήμη, να συμμετέχουν σε συζητήσεις και να εκφράζουν τεκμηριωμένες απόψεις, αλλά και να τοποθετούνται υπεύθυνα και να παίρνουν αποφάσεις για ζητήματα που έχουν σχέση με τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία.

Παράλληλα, μέσα από τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών είναι επιθυμητό οι μαθητές να αναπτύξουν ικανότητες που σχετίζονται με την εφαρμογή της επιστημονικής μεθόδου, η οποία είναι συνυφασμένη με την ανάπτυξη και την εξέλιξη της ίδιας της επιστήμης. Μεταξύ άλλων, θα πρέπει να μάθουν να συλλέγουν πληροφορίες, να τις αξιολογούν και να τις ερμηνεύουν, να διατυπώνουν συμπεράσματα και να τα παρουσιάζουν με διαφορετικούς τρόπους, προφορικά ή γραπτά, αναπτύσσοντας, εν τέλει, ικανότητες συλλογής, καταγραφής, ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων.

## Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΤΠΕ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Ο όρος ΤΠΕ (Τεχνολογία/-ες Πληροφόρησης και Επικοινωνίας) αποτελεί απόδοση στα ελληνικά του διεθνούς όρου ICT (Information and Communication Technologies) και αναφέρεται στο σύνολο των διαθέσιμων ψηφιακών τεχνολογιών (τεχνολογικά προϊόντα καθώς και τεχνολογικά εργαλεία σχεδίασης, παραγωγής, αξιολόγησης) που βασίζονται στη διαχείριση της ψηφιακής πληροφορίας (παραγωγή, αναπαράσταση, επεξεργασία, αποθήκευση) και στη μετάδοσή της μέσω δικτύων επικοινωνίας και, κυρίως, του διαδικτύου. Ειδικότερα, με τον όρο ΤΠΕ στην Εκπαίδευση εννοείται η ενσωμάτωση και η συστηματική χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών στην εκπαιδευτική διαδικασία με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας των μαθησιακών εμπειριών και την επίτευξη υψηλότερου επιπέδου μαθησιακών αποτελεσμάτων.

Με την τεχνολογία είναι δυνατή η διαχείριση με πολλούς τρόπους των εξωτερικών αναπαραστάσεων γνώσης που είναι απαραίτητες στην εκπαίδευση-μάθηση. Το παραδοσιακό έντυπο (π.χ. το σχολικό εγχειρίδιο) επιτρέπει τη διαχείριση μόνο αναπαραστάσεων στατικής μορφής (εικόνες, κείμενο), ενώ το ψηφιακό μέσο επιτρέπει τη διαχείριση δυναμικών αναπαραστάσεων για την παρουσία πληροφοριών στην οθόνη (π.χ. ήχος, σχεδιοκίνηση, βίντεο), ενώ εισάγει, επιπρόσθετα, το χαρακτηριστικό της διάδρασης.

Η εισαγωγή των ΤΠΕ στην εκπαίδευση γενικά και ειδικότερα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών μπορεί να βοηθήσει στη μετατόπιση της διδασκαλίας από την παραγωγική στην επαγωγική μέθοδο, από τη μάθηση ως εξωτερικά καθοδηγούμενη διαδικασία στη μάθηση ως αυτοπροσδιοριζόμενη διαδικασία. Υπό αυτές τις συνθήκες ο υπολογιστής γίνεται εργαλείο έκφρασης της διερεύνησης στα χέρια των μαθητών και των εκπαιδευτικών τους, από υπολογιστής-δάσκαλος γίνεται υπολογιστής-συνεργάτης στη μαθησιακή διαδικασία. Μέσα από τις δυνατότητες μοντελοποίησης, οπτικοποίησης και, κυρίως, προσομοίωσης φυσικών φαινομένων και διαδικασιών, οι υπολογιστές συντελούν στο να δημιουργούνται περιβάλλοντα μάθησης όπου οι χρήστες έχουν τη μοναδική ευκαιρία να παρατηρήσουν φαινόμενα, υλικά και διαδικασίες που συχνά είναι δύσκολο, αδύνατο ή, ακόμα, επικίνδυνο να παρατηρήσουν στην πραγματικότητα, να εκτελέσουν εικονικά πειράματα και να παρέμβουν στις διαδικασίες προκειμένου να ελέγξουν υποθέσεις και να μελετήσουν αλλαγές της ύλης τόσο στον πραγματικό κόσμο όσο και σε εναλλακτικούς. Τα υποστηριζόμενα από τους υπολογιστές περιβάλλοντα οικοδόμησης της γνώσης δεν περιλαμβάνουν έτοιμη γνώση, αλλά δημιουργούν καταστάσεις και παρέχουν εργαλεία που υποκινούν τον μαθητή να κάνει τη μέγιστη δυνατή χρήση των δικών του γνωστικών ικανοτήτων (Clements, 1991).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιοποίηση των ποικίλων δυνατοτήτων του υπολογιστή στη διδασκαλία και τη μάθηση των φυσικών επιστημών δεν αντικαθιστά το πείραμα σε πραγματικές συνθήκες σε βαθμό που να υποβαθμίζεται ο ρόλος του σχολικού εργαστηρίου φυσικών επιστημών, διότι το εργαστήριο καλλιεργεί δεξιότητες χειρισμού που δεν μπορούν να αναπτυχθούν με τη χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών.

Η διδακτική αξιοποίηση των ΤΠΕ μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, καθώς οι ποικίλες δυνατότητες των ΤΠΕ δύνανται να αξιοποιηθούν με κατάλληλα σενάρια και διδακτικές πορείες, προκειμένου να βοηθηθούν οι μαθητές να οικοδομήσουν επιστημονικές απόψεις, γνώσεις, δεξιότητες, ικανότητες, συνδεδεμένες με την καθημερινή ζωή και ειδικότερα με την αντιμετώπιση πραγματικών καταστάσεων και προβλημάτων.

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα έχει γίνει σημαντική προσπάθεια για την ανάπτυξη πακέτων εκπαιδευτικού λογισμικού στο πλαίσιο έργων τόσο του Υπουργείου Παιδείας όσο και ανεξάρτητων ερευνητικών ακαδημαϊκών ομάδων. Πλέον υπάρχει μία σχετικά ικανοποιητική βάση τέτοιων εκπαιδευτικών λογισμικών φυσικών επιστημών, πολλά από τα οποία έχουν πιστοποιηθεί από το Υπουργείο Παιδείας και διατίθενται για χρήση στα σχολεία και τις ακαδημαϊκές μονάδες. Επίσης,

πολλοί δικτυακοί τόποι, σε διεθνές και τοπικό επίπεδο, προσφέρουν πληροφόρηση, ενημέρωση για θέματα διδασκαλίας και μάθησης των φυσικών επιστημών και εύρεση ψηφιακού εκπαιδευτικού υλικού, προτάσεων διδασκαλίας, συνοδευτικού υλικού, ταινιών βίντεο, εικονικών πειραμάτων, παιχνιδιών κ.ά. Ένα υλικό που ο εκπαιδευτικός μπορεί να αξιοποιήσει ώστε να προσφέρει στους μαθητές του αποτελεσματική και ενδιαφέρουσα διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

## ΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μία από τις διάφορες μορφές αναπαράστασης που μπορεί να αξιοποιηθεί ως γνωστικό εργαλείο είναι η εκπαιδευτική προσομοίωση. Με τον όρο γνωστικό εργαλείο εννοείται ένα εργαλείο που αποτελεί επέκταση της σκέψης του μαθητή, βοηθάει στις γνωστικές λειτουργίες του και τον υποστηρίζει να οικοδομήσει γνώση καθώς ο μαθητής διερευνά το πρόβλημα με τη βοήθεια του υπολογιστή και του κατάλληλου λογισμικού.

Ως εκπαιδευτική προσομοίωση συστήματος (φυσικού, τεχνητού ή φανταστικού) ορίζεται η αναπαράσταση κατάστασης, διαδικασιών, φαινομένου ή ενός αντικειμένου από λογισμικό μέσω του οποίου ο μαθητής μπορεί να διαδράσει με την προσομοίωση και να οικοδομήσει γνώση για τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, του φαινομένου, των διαδικασιών ή του αντικειμένου που αποτελεί τον στόχο μάθησης (de Jong & van Joolingen, 1998) (Thompson, A.D.; Simonson, M.R.; Hargrave, C.P., 1993) (Akran & Andre, 1999).

Μία προσομοίωση βασίζεται πάντα σε κάποιο υπολογιστικό μοντέλο, δηλαδή ένα απλούστερο ή συνθετότερο φυσικό ή ιδεατό σύστημα το οποίο εκτελείται από ένα λογισμικό προσομοίωσης και προσομοιώνει τη λειτουργία του συστήματος που μελετά ο μαθητής. Η διεπαφή του χρήστη προσφέρει τη δυνατότητα ώστε ο μαθητής να επηρεάσει την προσομοίωση, δηλαδή να αλλάξει την είσοδο δεδομένων στο λογισμικό. Ταυτόχρονα, το λογισμικό θα πρέπει, με βάση το υπολογιστικό μοντέλο, να ανταποκρίνεται στα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης και να εμφανίζει τις αντίστοιχες αλλαγές στην έξοδο – η οποία συνήθως είναι η οθόνη του υπολογιστή. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αναπαρίστανται με διάφορους τρόπους, κυρίως ως αριθμητικά δεδομένα και γραφικά.

Ο εκπαιδευόμενος, παρατηρώντας το αποτέλεσμα που έχουν οι ενέργειές του στη συμπεριφορά του προσομοιωμένου συστήματος, συνειδητοποιεί περισσότερο τους περιορισμούς της αρχικής του ερμηνείας (το αποτέλεσμα της προσομοίωσης ενδέχεται να έρχεται σε σύγκρουση με τις προσδοκίες του) και ανακαλύπτει τις ιδιότητες του επιστημονικού μοντέλου που περιέχει η προσομοίωση. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της προσομοίωσης είναι ότι το υπολογιστικό μοντέλο συχνά τονίζει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη θεωρητική κατανόηση και αποκρύπτει ή αποκλείει τα στοιχεία που δεν έχουν κάποια σχέση ή μπορούν να οδηγήσουν σε παρανοήσεις (Jaakkola, Nurmi, & Veermans, 2011).

Οι προσομοιώσεις τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία στους εκπαιδευτικούς των φυσικών επιστημών μέσω ποικίλων οδών και αξιοποιούνται για την παρουσίαση επιστημονικών φαινομένων και διαδικασιών που ενδεχομένως δεν μπορούν να παρατηρηθούν με άλλο τρόπο. Επίσης, αξιοποιούνται σε καταστάσεις κατά τις οποίες απαιτείται η επανάληψη ενός πειράματος πολλές φορές, με τη μεταβολή των παραμέτρων κάθε φορά και εντός ορισμένου χρόνου. Τέλος, επιτρέπουν το χειρισμό των μεταβλητών ενός συστήματος που είναι αδύνατον να ελεγχθούν στον φυσικό κόσμο (Trundle & Bell, 2010).

Σημαντικός αριθμός ερευνών έχουν αναδείξει την αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ο Rutten και οι συνεργάτες του έκαναν μία ανασκόπηση των ημι-πειραματικών ερευνών που είχαν δημοσιευθεί από το 2001 μέχρι το 2010 και βρήκαν ότι, γενικά, οι προσομοιώσεις έχουν θετικά αποτελέσματα και μπορούν να ενισχύσουν την παραδοσιακή διδασκαλία. (Rutten, van Joolingen, & van der Veer, 2012). Οι Smetana και Bell (2012) σε μία ποσοτική ανασκόπηση των ερευνών μεταξύ 1972 και 2010 εστίασαν στον αντίκτυπο των προσομοιώσεων και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, αν αξιοποιηθούν κατάλληλα, μπορούν να είναι αποτελεσματικές σε ό,τι αφορά την προαγωγή i) της γνώσης περιεχομένου (content knowledge), ii) των ικανοτήτων (δεξιοτήτων) επεξεργασίας (process skills) και iii) της εννοιολογικής αλλαγής (cognitive change) (Smetana & Bell, 2012).

Σαφώς η αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων συνδέεται στενά με την παιδαγωγική προσέγγιση που εμπλέκει τις προσομοιώσεις (Clark, 1983)(Clark, 1994)(Flick & Bell, 2000). Η αποτυχία της παιδαγωγικής προσέγγισης που χρησιμοποιεί μία τεχνολογική εφαρμογή μπορεί να εξηγήσει τα αρνητικά αποτελέσματα ερευνών πεδίου. Απλώς επιτρέποντας στους μαθητές να έχουν

πρόσβαση σε ένα λογισμικό χωρίς να δίνεται η απαιτούμενη προσοχή στη μαθησιακή στήριξη και τη διδακτική πρακτική είναι πιθανόν να μην επιτευχθούν οι προσδοκώμενοι εκπαιδευτικοί στόχοι.

Ένα από τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά μίας προσομοίωσης που επηρεάζει το μαθησιακό αποτέλεσμα είναι η αλληλεπίδραση του μαθητή με αυτή. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται δύο τρόποι αλληλεπίδρασης των μαθητών με μία προσομοίωση : στη μία περίπτωση υπάρχει αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού (experimentation interactivity) και στην άλλη αλληλεπίδραση μέσω παρατήρησης (observation interactivity). Στην πρώτη οι μαθητές εκτελούν, με τη βοήθεια της προσομοίωσης, εικονικά πειράματα έχοντας τον έλεγχο των εισαγόμενων τιμών διαφορετικών μεταβλητών της προσομοίωσης. Στη δεύτερη οι μαθητές παρακολουθούν μία σειρά από βίντεο μικρής διάρκειας που παρουσιάζουν την εξέλιξη της προσομοίωσης, με τον εκπαιδευτικό να έχει αλλάξει τις τιμές των διαφορετικών μεταβλητών.

Οι δύο τρόποι αλληλεπίδρασης δίνουν στον μαθητή τη δυνατότητα επιλογής του περιεχομένου και της αλληλουχίας των μαθησιακών δραστηριοτήτων στηριζόμενοι στις δικές του ανάγκες και αμφότεροι συμφωνούν με τις θεωρητικές αρχές του Εποικοδομητισμού επιτρέποντας την ενεργό συμμετοχή. Παρ' όλα αυτά, η αλληλεπίδραση μέσω πειραματισμού παρέχει περισσότερες επιλογές και είναι πιο ανοιχτή σε σύγκριση με την αλληλεπίδραση μέσω παρατήρησης, γεγονός που ενδέχεται να αυξάνει το εξωγενές γνωστικό φορτίο και να περιορίζει τα μαθησιακά αποτελέσματα. Έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητές συχνά συναντούν δυσκολίες όταν συνειδητά και επί τούτου πραγματοποιούν εικονικά πειράματα αξιοποιώντας κάποια προσομοίωση (Lee, Nicoll, & Brooks, 2004) (Parnafes, 2007). Ίσως να οφείλεται σε γνωστική υπερφόρτωση που προκαλεί η αλληλεπίδραση (Moreno & Valdez, 2005) ή σε έλλειψη κατανόησης του σκοπού και της μεθόδου της αξιοποιούμενης προσομοίωσης για την πραγματοποίηση των εικονικών πειραμάτων (Harrison & Treagust, 1996) (Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002).

## ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ PhET

Οι διαδραστικές προσομοιώσεις PhET (Physics Education Technology) αποτελούν έναν μη κερδοσκοπικό ανοιχτό εκπαιδευτικό πόρο (open educational resource, OER) και αποτελούν έργο του Πανεπιστημίου Boulder του Κολοράντο. Ξεκίνησαν το 2002 από τον κάτοχο του βραβείου Νόμπελ Carl Wieman και το όραμά του να βελτιώσει 1) τον τρόπο με τον οποίο διδάσκεται και μαθαίνεται η επιστήμη και τα μαθηματικά και 2) τη μόρφωση και την εκπαίδευση παγκόσμια μέσα από ελεύθερες διαδραστικές προσομοιώσεις.

Το ακρωνύμιο του έργου PhET σήμαινε αρχικά "Τεχνολογία εκπαίδευσης φυσικής" αλλά το PhET σύντομα επεκτάθηκε και σε άλλους τομείς. Το έργο τώρα σχεδιάζεται, αναπτύσσεται και εκδίδεται σε πάνω από 125 ελεύθερες διαδραστικές προσομοιώσεις για εκπαιδευτική χρήση στους τομείς Φυσικής, Χημείας, Βιολογίας, στις Επιστήμες γης και περιβάλλοντος και τα Μαθηματικά. Οι προσομοιώσεις έχουν μεταφραστεί σε πάνω από 65 διαφορετικές γλώσσες, συμπεριλαμβανομένων των ελληνικών και ο ιστότοπος PhET (<https://phet.colorado.edu/>) δέχεται εκατομμύρια επισκέπτες κάθε χρόνο.

Οι διαδραστικές προσομοιώσεις PhET ενσωματώνουν πρακτικές με βάση την έρευνα στην ενεργή διδασκαλία για να βελτιώσουν την εκμάθηση των εννοιών της επιστήμης και των μαθηματικών και σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι ευπροσάρμοστες για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επιδείξεις σε διαλέξεις, σε εργαστήρια ή σε οικιακές δραστηριότητες.

Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν ένα διαισθητικό περιβάλλον, παρόμοιο με παιχνίδι, όπου ο εκπαιδευόμενος μπορεί να μάθει μέσα από μια απλοποιημένη επιστημονική προσέγγιση, όπου οι δυναμικές οπτικές αναπαραστάσεις κάνουν το αόρατο ορατό και οι επιστημονικές ιδέες συσχετίζονται με τα πραγματικά φαινόμενα.

## ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ

Η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση αφορά τη διδακτική ενότητα 4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση Χημικής Ισορροπίας – Αρχή Le Chatelier του σχολικού βιβλίου της Χημείας Γ' Γενικού Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών και Σπουδών Υγείας με διδακτικό στόχο «Να καθορίζει ο μαθητής τους παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση μίας χημικής ισορροπίας και να ανακαλύψει την επίδραση που έχουν αυτοί στη μετατόπιση της χημικής ισορροπίας.

Η παρέμβαση πραγματοποιείται στο εργαστήριο Η/Υ και η διάρκειά της είναι δύο διδακτικές ώρες. Στην πρώτη διδακτική ώρα οι μαθητές/ήτριες του τμήματος χωρίζονται σε ισάριθμες ομάδες ανάλογα με τον αριθμό των διαθέσιμων ηλεκτρονικών υπολογιστών, γνωρίζουν την προσομοίωση PhET με επίδειξη της από τον/την εκπαιδευτικό και εξασκούνται στη μεταβολή (αύξηση – μείωση) του αριθμού

των μορίων αντιδρώντων - προϊόντων, στην έναρξη – διακοπή – επανέναρξή της προσομοίωσης, και στη μεταβολή (αύξηση – μείωση) της θερμοκρασίας του συστήματος.

Κατά τη διάρκεια της 2<sup>ης</sup> διδακτικής ώρας, σε κάθε ομάδα μαθητών/ητρίων μοιράζεται από ένα φύλλο οδηγιών και σε κάθε μαθητή/ήτρια από ένα φύλλο εργασίας με δύο ερωτήματα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι) που σχετίζονται με τη μετατόπιση της θέσης της Χημικής Ισορροπίας ενός συστήματος αερίων σε συνάρτηση με τη μεταβολή της συγκέντρωσης των αντιδρώντων και των προϊόντων και με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

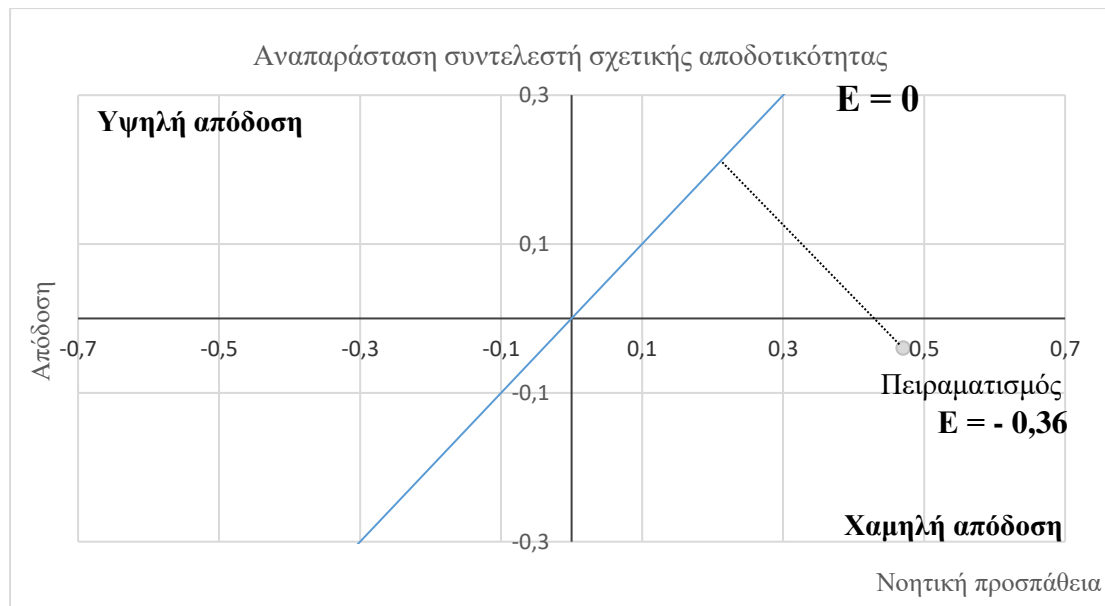
Για να εκτιμηθεί το όφελος που προσκόμισαν οι μαθητές από την εκπαιδευτική παρέμβαση ως κριτήριο επιλέχθηκε η διαφορά της επίδοσης τους στο pre- και το post-test (Chang, 2017). Άλλα στοιχεία που συνεκτιμήθηκαν ήταν i) η επίδοσή τους στο post-test, ii) ο χρόνος ολοκλήρωσης της δραστηριότητας, iii) ο αριθμός των εικονικών πειραμάτων που εκτέλεσαν οι μαθητές και iv) η αποδοτικότητα της μάθησης (learning efficiency) για τους μαθητές της κάθε ομάδας. Ως αποτελεσματικότητα της μάθησης ακολουθήθηκε ο ορισμός της Chang σύμφωνα με την οποία ως αποτελεσματικότητα της μάθησης ορίζεται η διαφορά μεταξύ των επιδόσεων στο post- και το pre-test διαιρούμενη με τον αριθμό των εικονικών πειραμάτων που εκτέλεσαν οι μαθητές.

Για την εκτίμηση του γνωστικού φορτίου αξιοποιήθηκε η τυποποίηση της αξιολόγησης από πλευράς των μαθητών της νοητικής προσπάθειας (mental effort) που κατέβαλαν για την απάντηση των ερωτήσεων του φύλλου εργασίας, σε μία διαβαθμισμένη κλίμακα 9 βαθμίδων και η τυποποίηση της απόδοσής (performance) σε αυτό και στη συνέχεια ο υπολογισμός βάσει αυτών του δείκτη αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών (condition efficiency) E, όπως αυτός ορίζεται από τους Paas και van Merriënboer (Paas & van Merriënboer, 1994).

Στην υπολογιστική αυτή προσέγγιση, ο βαθμός του μαθητή για την νοητική προσπάθεια και την απόδοση τυποποιούνται και προκύπτει ένας δείκτης z για τη νοητική προσπάθεια ( $z_{m.e.}$ ) και ένας δείκτης z για την απόδοση ( $z_{pr.}$ ). Στη συνέχεια υπολογίζεται ο δείκτης αποδοτικότητας εκπαιδευτικών συνθηκών E (instructional condition efficiency score) για κάθε μαθητή που αντιστοιχεί στην απόσταση ενός σημείου με συντεταγμένες  $(x,y) = (z_{m.e.}, z_{pr.})$  από την ευθεία «E = 0», όπου η νοητική προσπάθεια και η επίδοση είναι σε ισορροπία. Η μαθηματική σχέση υπολογισμού του δείκτη E είναι:  $E = \frac{|z_{m.e.} - z_{pr.}|}{\sqrt{2}}$  με την τετραγωνική ρίζα του 2 στον παρανομαστή να προκύπτει από το γενικό τύπο υπολογισμού της απόστασης σημείου A(x,y) από την ευθεία ε με εξίσωση  $x-y = 0$ . Ακολούθως, μπορεί να απεικονιστεί γραφικά ο δείκτης E σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με τον οριζόντιο άξονα να είναι ο άξονας του  $z_{m.e.}$  και ο κατακόρυφος άξονας του  $z_{pr.}$ . Το πρόσημο του δείκτη E καθορίζεται από τη διαφορά  $z_{pr.} - z_{m.e.}$ . Όταν  $z_{m.e.} - z_{pr.} > 0$  τότε  $E < 0$  και όταν  $z_{m.e.} - z_{pr.} < 0$  τότε  $E > 0$ .

Σε ότι αφορά τον πρώτο σκοπό της έρευνας, από τη σύγκριση της επίδοσης τους στο pre- και στο post-test προκύπτει ότι η διδακτική παρέμβαση ήταν αποτελεσματική με τους μαθητές να πετυχαίνουν υψηλότερες επιδόσεις στο post-test, γεγονός που σημαίνει ότι μετά το πέρας της οι μαθητές είναι σε θέση i) να αναγνωρίζουν την ποσότητα αντιδρώντων και προϊόντων και τη θερμοκρασία ως παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση μίας χημικής ισορροπίας αερίων σωμάτων, ii) να προβλέπουν τη μετατόπιση μίας χημικής ισορροπίας προς την μία ή την άλλη κατεύθυνση όταν ένας από αυτούς τους δύο παράγοντες μεταβάλλεται και iii) να ερμηνεύουν τη μετατόπιση μίας χημικής ισορροπίας προς την μία ή την άλλη κατεύθυνση όταν ένας από αυτούς τους δύο παράγοντες μεταβάλλεται.

Σε ότι αφορά τον δεύτερο σκοπό της έρευνας, από τη θέση του δείκτη E στο σύστημα συντεταγμένων  $z_{m.e.} - z_{pr.}$  προκύπτει ότι το γνωστικό φορτίο είναι σχετικά υψηλό. Αυτό διότι ένας μαθητής προκειμένου να εκτελέσει ένα εικονικό πείραμα αξιοποιώντας τις δυνατότητες που του προσφέρει η συγκεκριμένη προσομοίωση θα πρέπει να το σχεδιάσει και να λάβει υπόψη του στοιχεία όπως : τον σκοπό του πειράματος, ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν όπως του είδους της αντίδρασης (εξώθερμη ή ενδόθερμη), την αρχική θερμοκρασία, τις αρχικές ποσότητες των αντιδρώντων, την εμφάνιση και επανεκκίνηση του χρονομέτρου, την κατάλληλη χρονική διακοπή της αντίδρασης προκειμένου να επιφέρει μία μεταβολή στο σύστημα κ.ά. Σύμφωνα με τον Pollock και τους συνεργάτες του, όταν στους εκπαιδευόμενους παρουσιάζεται ένα νέο υλικό, για το οποίο δεν υπάρχει κάποια πρότερη γνώση, και καλούνται να διαχειριστούν μια σειρά στοιχείων ταυτόχρονα στη βραχυπρόθεσμη μνήμη χωρίς να διαθέτουν τα απαραίτητα σχήματα τότε το γνωστικό φορτίο είναι αυξημένο (Pollock, Chandler, & Sweller, 2002).



Όπως δηλώνουν οι Paas και van Merriënboer, ο δείκτης αποδοτικότητας των εκπαιδευτικών συνθηκών είναι μία πρώτη εκτίμηση της αποδοτικότητας δύο διαφορετικών συνθηκών καθώς δέχονται ως δεδομένη μία γραμμική σχέση ανάμεσα στη νοητική προσπάθεια και την απόδοση. Δεδομένης της απουσίας άλλων πιο λεπτομερών μοντέλων, η προτεινόμενη τεχνική είναι μία χρήσιμη εναλλακτική που επιτρέπει τη συσχέτιση των μετρήσεων της νοητικής προσπάθειας και της απόδοσης (Paas & van Merriënboer, 1994).

Επίσης, σημαντικό είναι να συνδυαστεί η μέτρηση της νοητικής αποδοτικότητας και του γνωστικού φορτίου με την καταγραφή του χρονικού διαστήματος μέσα στο οποίο οι μαθητές ολοκλήρωσαν την εργασία. Κι αυτό διότι, κατά τον Paas και τους συνεργάτες του είναι απαραίτητη η μέτρηση του χρόνου που χρειάστηκε ένας μαθητής να ολοκληρώσει την εργασία αφού, μία εκτίμηση 5 στην 9-βάθμια κλίμακα για κάποιον που χρειάστηκε 5 λεπτά να πραγματοποιήσει την εργασία δεν έχει την ίδια αξία με κάποιον που χρειάστηκε 10 λεπτά για να την ολοκληρώσει (Paas, Tuovinen, Tabbers, & van Gerven, 2003). Βέβαια, κατά τον Paas και τους συνεργάτες του, όταν ζητείται από τους μαθητές να εκτιμήσουν τη νοητική προσπάθεια κατά την εκτέλεση μίας δραστηριότητας, θα πρέπει να διευκρινίζεται αν λαμβάνουν υπόψη τους και τον χρόνο περάτωσης της (οπότε δεν χρειάζεται καταγραφή του χρόνου). Διαφορετικά, μία μέτρηση της αποδοτικότητας όπου έχουν ληφθεί υπόψη η νοητική προσπάθεια, η απόδοση και ο χρόνος είναι ιδιαίτερος κατατοπιστική (Paas, Tuovinen, Tabbers, & van Gerven, 2003).

Ο σχεδιασμός διαδραστικών εκπαιδευτικών διαδικασιών όπου γίνεται χρήση προσομοιώσεων σε υπολογιστή, διαδικασιών σύμφωνων με τις αρχές του εποικοδομητισμού και της γνωστικής θεωρίας της πολυμεσικής μάθησης μπορεί να επιφέρει οφέλη στη μάθηση. Μία διαδικασία που i) επιτρέπει τη διάδραση μαθητή – ποροσομοίωσης και ii) λαμβάνει υπόψη της την πρότερη γνώσης του μαθητή και το γνωστικό φορτίο που μπορεί να του προκαλέσει δεν εμποδίζει τη μάθηση.

Συνολικά, μπορούμε να πούμε ότι με τη διερεύνηση της διάδρασης μαθητή – προσομοίωσης ως χαρακτηριστικού που πρέπει να διαθέτει μία προσομοίωση και με το σχεδιασμό μίας εκπαιδευτικής πρακτικής που την αξιοποιεί, τα ευρήματα της παρούσης εργασίας θα μπορέσουν να βοηθήσουν στο σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων που ενσωματώνουν προσομοιώσεις και θα συμβάλλουν σε αυξημένα μαθησιακά αποτελέσματα (απόκτηση δεξιοτήτων, εννοιολογική αλλαγή, γνώση περιεχομένου).

#### Παρατηρήσεις για τη μοντελοποίηση που αξιοποιείται στο λογισμικό της προσομοίωσης

1) Η προσομοίωση έχει σχεδιαστεί ώστε να βοηθηθεί ο μαθητής στην οπτικοποίηση των αμφίδρομων αντιδράσεων.

2) Ο αριθμός των μορίων κάθε ουσίας κατά την έναρξη ενός πειράματος δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 100 μόρια.

2) Η Μέση Ολική Ενέργεια είναι το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας των μορίων αντιδρώντων και προϊόντων. Κατά τη σύγκρουση δύο σωματιδίων (που για λόγους απλοποίησης

θεωρείται ελαστική) η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας υπολογίζεται με κατάλληλη προσαρμογή της κινητικής ενέργειας.

3) Κατά την πρόσθεση / αφαίρεση ενέργειας, η μεταβολή της ενέργειας γίνεται αμέσως αντιληπτή στη μεταβολή της κίνησης των μορίων (πιο γρήγορη ή πιο αργή αντίστοιχα) στο δοχείο της αντίδρασης. Στον πραγματικό κόσμο, πρώτα θα μεταβληθεί η θερμοκρασία του δοχείου και στη συνέχεια θα μεταβληθεί η ενέργεια των σωματιδίων λόγω σύγκρουσης, διάδοσης ή σκέδασης.

4) Το μέγεθος των σωματιδίων δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς του λογισμικού. Τα διαφορετικά χρώματα και μεγέθη των σωματιδίων αποσκοπούν στην καλύτερη αντίληψη των μαθητών.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Akpan, J., & Andre, T. (1999). The effect of a prior dissection simulation on middle school students' dissection performance and understanding of the anatomy and morphology of the frog. *Journal of Science Education and Technology*, 8(2), 107-121.

Chang, H.-Y. (2017). How to augment the learning impact of computer simulation ? The designs and effects of interactivity and scaffolding. *Interactive Learning Environments*, 25(8), 1083-1097.

Clark, R. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53, 445-459.

Clark, R. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21-29.

Clements, H. (1991). Enhancement of creativity in computer environments. *American Educational Research Journal*, 28, 173 - 187.

de Jong, T., & van Joolingen, W. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-202.

Flick, L., & Bell, R. (2000). Preparing tomorrow's science teachers to use technology: Guidelines for Science educators. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education [Online serial]*, 1(1).

Harrison, A., & Treagust, D. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules : Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80, 509-534.

Jaakkola, T., Nurmi, S., & Veermans, K. (2011). A Comparison of Student's Conceptual Understanding of Electric Circuits in Simulation Only and Simulation-Laboratory Contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 71-93.

Lee, K., Nicoll, G., & Brooks, D. (2004). A comparison of inquiry and worked example web-based instruction using Physlets. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 81-88.

Moreno, R., & Valdez, A. (2005). Cognitive load and learning effects of having students organize pictures and words in multimedia environments : The role of student interactivity and feedback. *Educational Technology Research and Development*, 53, 35-45.

Paas, F., & van Merriënboer, J. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem solving skills : A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.

Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & van Gerven, P. (2003). Cognitive load measurements as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychology*, 38, 63-72.

Parnafes, O. (2007). What does "fast" mean ? Understanding the physical world through computational representations. *The Journal of the Learning Science*, 16, 415-450.

Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*(12), 61-86.

Rutten, N., van Joolingen, W., & van der Veer, J. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computer and Education*, 58(1), 136-153.

Smetana, L., & Bell, R. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning : A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34, 1337-1370.

Thompson, A.D.; Simonson, M.R.; Hargrave, C.P. (1993). *Educational technology : a review of the research*. (R. ed., Ed.) Washington, D.C: Association for Education Communications and Technology.

Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 357-368.

Trundle, K., & Bell, R. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change : A quasi-experimental study. *Computer and Education*, 54, 1078-1088.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

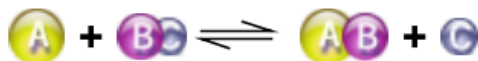
### Φύλλο οδηγιών

Αξιοποιήστε την προσομοίωση PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) για να πραγματοποιήσετε τα πειράματά σας και να απαντήσετε στις 2 ερωτήσεις του φύλλου εργασίας.

#### 1<sup>ο</sup> Πείραμα : Μεταβολή αριθμού μορίων αντιδρώντων – προϊόντων

Στο πείραμα αυτό θα ελέγξετε αν η μεταβολή του αριθμού των μορίων αντιδρώντων – προϊόντων επηρεάζει τη θέση της Χημικής Ισορροπίας και αν ναι, με ποιον τρόπο.

1<sup>ο</sup> Βήμα : Από το πεδίο «Αρχικές συνθήκες» επιλέξτε «Σχεδιασμός αντίδρασης». Από το λογισμικό επιλέγεται η ενδόθερμη αντίδραση :



2<sup>ο</sup> Βήμα : Στο ίδιο πεδίο εισάγετε τον αρχικό αριθμό μορίων των αντιδρώντων : 80 μόρια A και 80 μόρια BC (Μπορείτε να ξεκινήσετε και με τα AB και C)

3<sup>ο</sup> Βήμα : Ρυθμίστε την «Αρχική Θερμοκρασία» στο μέσο της κλίμακας Χαμηλή – Υψηλή

4<sup>ο</sup> Βήμα : Από το πεδίο «Επιλογές» επιλέξτε «Εμφάνιση Χρονομέτρου» και με το ποντίκι σύρτε το σε σημείο της οθόνης που σας εξυπηρετεί.

5<sup>ο</sup> Βήμα : Από το πεδίο «Αρχικές συνθήκες» επιλέξτε «Εναρξη Πειράματος» και στο Χρονόμετρο «Εναρξη».

6<sup>ο</sup> Βήμα : Τη στιγμή που το χρονόμετρο δείχνει 500 διακόπτετε την προσομοίωση επιλέγοντας «Παύση» στο κάτω μέρος της οθόνης και σημειώνετε στον πίνακα του φύλλου εργασίας τις ποσότητες αντιδρώντων και προϊόντων.

7<sup>ο</sup> Βήμα : Μεταβάλετε τον αριθμό μίας από τις ουσίες που συμμετέχουν στην αντίδραση, σημειώστε στον Πίνακα Ι τη νέα σύσταση του μείγματος της αντίδρασης και επιλέξτε «Αναπαραγωγή» στο κάτω μέρος της οθόνης ώστε να ξεκινήσει πάλι η προσομοίωση.

8<sup>ο</sup> Βήμα : Αφήστε την προσομοίωση να τρέξει μέχρι τη στιγμή 1000, επιλέξτε «Παύση» και σημειώστε στον πίνακα του φύλλου εργασίας τη νέα σύσταση του αντιδρώντος συστήματος.

9<sup>ο</sup> Βήμα : Επιλέξτε «Τερματισμός» και επαναλάβετε τα βήματα 5 – 8 μεταβάλλοντας (αυξάνοντας – μειώνοντας) τον αριθμό των μορίων διαφορετικής ουσίας και αλλάζοντας το είδος της αντίδρασης (εξώθερμη – ενδόθερμη)

#### 2<sup>ο</sup> Πείραμα : Μεταβολή θερμοκρασίας

Στο πείραμα αυτό θα ελέγξετε αν η μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει τη θέση της Χημικής Ισορροπίας και αν ναι, με ποιον τρόπο.

1<sup>ο</sup> Βήμα : Από το πεδίο «Αρχικές συνθήκες» επιλέξτε «Σχεδιασμός αντίδρασης». Από το λογισμικό επιλέγεται η ενδόθερμη αντίδραση :

2<sup>ο</sup> Βήμα : Στο ίδιο πεδίο εισάγετε τον αρχικό αριθμό μορίων των αντιδρώντων : 80 μόρια A και 80 μόρια BC (Μπορείτε να ξεκινήσετε και με τα AB και C)

3<sup>ο</sup> Βήμα : Ρυθμίστε την «Αρχική Θερμοκρασία» στο μέσο της κλίμακας Χαμηλή – Υψηλή

4<sup>ο</sup> Βήμα : Από το πεδίο «Επιλογές» επιλέξτε «Εμφάνιση Χρονομέτρου» και με το ποντίκι το σύρτε σε σημείο που σας εξυπηρετεί.

5<sup>ο</sup> Βήμα : Από το πεδίο «Αρχικές συνθήκες» επιλέξτε «Εναρξη Πειράματος» και στο Χρονόμετρο «Εναρξη».

6<sup>ο</sup> Βήμα : Τη στιγμή που το χρονόμετρο δείχνει 500 διακόπτετε την προσομοίωση επιλέγοντας «Παύση» στο κάτω μέρος της οθόνης και σημειώνετε στον πίνακα του φύλλου εργασίας τις ποσότητες αντιδρώντων και προϊόντων.

7<sup>ο</sup> Βήμα : Επιλέξτε «Αναπαραγωγή» στο κάτω μέρος της οθόνης ώστε να ξεκινήσει πάλι η προσομοίωση και με το ποντίκι μεταβάλετε τη θερμοκρασία του συστήματος της αντίδρασης μετακινώντας τον επιλογέα στη συσκευή κάτω από το δοχείο της αντίδρασης κρατώντας τον επάνω ή κάτω για περίπου 20 μονάδες χρόνου.

8<sup>ο</sup> Βήμα : Αφήστε την προσομοίωση να τρέξει μέχρι τη στιγμή 1000, επιλέξτε «Παύση» και σημειώστε στον πίνακα του φύλλου εργασίας τη νέα σύσταση του αντιδρώντος συστήματος.

9<sup>ο</sup> Βήμα : Επιλέξτε «Τερματισμός» και επαναλάβετε τα βήματα 5 – 8 μεταβάλλοντας (αυξάνοντας – μειώνοντας) τη θερμοκρασία του συστήματος της αντίδρασης και αλλάζοντας το είδος της αντίδρασης (εξώθερμη – ενδόθερμη)

#### Παρατηρήσεις

Σε κάθε επανάληψη, στο 5<sup>ο</sup> Βήμα δεν χρειάζεται να επιλέγετε στο Χρονόμετρο «Εναρξη»



Για την αλλαγή του είδους της αντίδρασης πριν την «Έναρξη Πειράματος» μετακινήστε την ενέργεια αντιδρώντων και προϊόντων ώστε να προκύψει το ενεργειακό διάγραμμα του είδους της αντίδρασης που επιθυμείτε.

### Φύλλο εργασίας

Πείραμα	Είδος αντίδρασης (εξώθερμη ή ενδόθερμη)	Τρέχουσες ποσότητες (κατά τη χρονική στιγμή ~ 500 μ.χ)				Μεταβολή	Τρέχουσες ποσότητες (μετά τη μεταβολή)				Τρέχουσες ποσότητες (κατά τη χρονική στιγμή ~ 1000 μ.χ)			
		A	BC	AB	C		A	BC	AB	C	A	BC	AB	C
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														

Παρατηρήσεις για τη συμπλήρωση του πίνακα :

- Στη 2<sup>η</sup> στήλη να σημειώσετε αν η αντίδραση είναι **ενδόθερμη** ή **εξώθερμη**
- Στη στήλη *Μεταβολή* να σημειώσετε τη μεταβολή που επιφέρεται στο σύστημα π.χ αύξηση αριθμού μορίων Α κατά .... ή μείωση αριθμού μορίων ΑΒ κατά ..... ή μείωση / αύξηση θερμοκρασία κ.ο.κ
- Οι στήλες που αντιστοιχούν στις *Τρέχουσες ποσότητες (μετά τη μεταβολή)* συμπληρώνονται **μόνο** στην περίπτωση που γίνεται μεταβολή του αριθμού των μορίων κάποιου από τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα

#### 1<sup>η</sup> Ερώτηση

Τι θα συμβεί στο σύστημα (που βρίσκεται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας) αν μεταβάλλουμε την ποσότητα (εδώ αριθμό μορίων) μίας από τις ουσίες που συμμετέχουν στην ισορροπία (αντιδρώντα – προϊόντα) διατηρώντας σταθερά τον όγκο του δοχείου που πραγματοποιείται η αντίδραση και τη θερμοκρασία : δεν θα παρατηρηθεί καμία μεταβολή – θα μετατοπιστεί η ισορροπία προς κάποια κατεύθυνση (αντιδρώντων / προϊόντων) ;

Απάντηση 1<sup>ης</sup> ερώτησης

---



---



---



---

2<sup>η</sup> Ερώτηση

Τι θα συμβεί στο σύστημα (που βρίσκεται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας) αν μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία του συστήματος διατηρώντας σταθερά τον όγκο του δοχείου που πραγματοποιείται η αντίδραση και τις ποσότητες (εδώ αριθμό μορίων) των ουσιών που συμμετέχουν στην ισορροπία (αντιδρώντα – προϊόντα) : δεν θα παρατηρηθεί καμία μεταβολή – θα μετατοπιστεί η ισορροπία προς κάποια κατεύθυνση (της ενδόθερμης /της εξώθερμης) ;

Αξιοποιήστε την προσομοίωση PhET Αντιδράσεις και Ταχύτητα Αντίδρασης (1.07) για να πραγματοποιήσετε τα πειράματά σας και να απαντήσετε στην ερώτηση. Ζητήστε από τον καθηγητή σας να σας αλλάξει την αντίδραση (εξώθερμη – ενδόθερμη).

Απάντηση 2<sup>ης</sup> ερώτησης

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Κριτήριο αξιολόγησης (pre- & post-test)

Ασκήσεις πολλαπλής επιλογής

1. Έστω η ισορροπία  $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$ . Τι θα συμβεί αν προσθέσουμε στο σύστημα σε ισορροπία ποσότητα AB διατηρώντας τη θερμοκρασία και τον όγκο σταθερά;

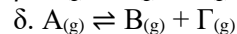
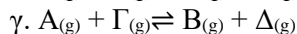
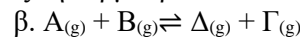
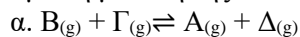
α. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά

β. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά

γ. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί και προς τις δύο κατευθύνσεις

δ. Η ισορροπία ΔΕΝ θα μετατοπιστεί

2. Σε ποιο από τα παρακάτω συστήματα σε ισορροπία η προσθήκη ποσότητας A θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του Γ (διατηρώντας τη θερμοκρασία και τον όγκο σταθερά);



3. Για να αυξηθεί η ποσότητα του B στην ισορροπία  $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons \Gamma_{(g)} + \Delta_{(g)}$ ,  $\Delta H < 0$  θα πρέπει:

α. να αυξηθεί η ποσότητα του A

β. να αυξηθεί η θερμοκρασία

γ. να μειωθεί η θερμοκρασία

δ. να μειωθεί η ποσότητα του Γ

4. Έστω η ισορροπία  $\Delta Z_{(g)} + E_{(g)} \rightleftharpoons E\Delta_{(g)} + Z_{(g)}$  με τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων και προϊόντων να φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

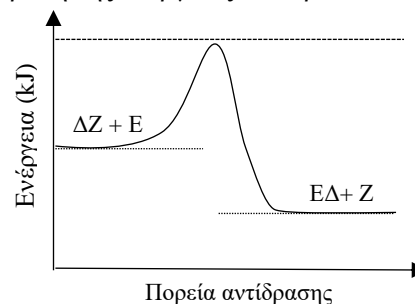
Τι θα συμβεί αν ελαττώσουμε την θερμοκρασία διατηρώντας τον όγκο σταθερό;

α. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί δεξιά

β. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί αριστερά

γ. Η ισορροπία θα μετατοπιστεί και προς τις δύο κατευθύνσεις

δ. Η ισορροπία ΔΕΝ θα μετατοπιστεί



5. Έστω η ισορροπία  $A_{(g)} + B\Gamma_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$  με τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων και προϊόντων να φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Αυξάνοντας τη θερμοκρασία του συστήματος και διατηρώντας τον όγκο σταθερό :

- θα αυξηθεί η ποσότητα των A και BΓ
- θα αυξηθεί η ποσότητα των AB και Γ
- δεν θα υπάρξει καμία επίδραση
- θα αυξηθεί η ποσότητα όλων των αερίων

Ασκήσεις σύντομης ανάπτυξης

1. Έστω οι ισορροπίες: (i)  $A_{(g)} + B\Gamma_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$ ,  $\Delta H_1 < 0$  και (ii)  $\Delta_{(g)} + B\Gamma_{(g)} \rightleftharpoons \Delta B_{(g)} + \Gamma_{(g)}$ ,  $\Delta H_2 > 0$ .

από τις δύο ισορροπίες η αύξηση της θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του Γ; Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

2. Έστω η ισορροπία  $AB_{(g)} + \Gamma_{(g)} \rightleftharpoons A\Gamma_{(g)} + B_{(g)}$ . Πως θα μεταβληθεί η ποσότητα του B, αν αυξηθεί η ποσότητα του AΓ (θα αυξηθεί, θα ελαττωθεί ή θα παραμείνει η ίδια); Να αιτιολογήσετε την επιλογή σας.

3. Έστω η ισορροπία :  $A_{(aq)} + 2B_{(aq)} \rightleftharpoons \Gamma_{(aq)}$ ,  $\Delta H > 0$ .

γαλάζιο                      πράσινο

Το σύστημα A, B, Γ σε κατάσταση χημικής ισορροπίας έχει γαλαζοπράσινο χρώμα που οφείλεται στα συστατικά του, στο γαλάζιο A και στο πράσινο Γ. Πως θα μεταβληθεί το χρώμα του συστήματος αν μειωθεί η θερμοκρασία; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Ασκήσεις εκτεταμένης ανάπτυξης

1. Έστω η ισορροπία  $A_{(g)} + B\Gamma_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$ . Διατηρώντας τον όγκο και τη θερμοκρασία σταθερά, για να αυξηθεί η ποσότητα του BΓ θα πρέπει να προσθέσουμε ποσότητα του αερίου Γ. Να αιτιολογήσετε το γιατί.

2. Το ακόλουθο διάγραμμα δείχνει τη μεταβολή της ενέργειας αντιδρώντων και προϊόντων για την αμφίδρομη αντίδραση  $A_{(g)} + B\Gamma_{(g)} \rightleftharpoons AB_{(g)} + \Gamma_{(g)}$ . Να αιτιολογήσετε γιατί η μείωση της θερμοκρασίας, διατηρώντας τον όγκο σταθερό, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του A.

3. Έστω η ισορροπία  $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons \Gamma_{(g)} + \Delta_{(g)}$ ,  $\Delta H > 0$ . Να αιτιολογήσετε πώς θα πρέπει να μεταβληθεί η θερμοκρασία προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του αερίου Δ (διατηρώντας τον όγκο σταθερό).

