

ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

(1) ΓΕΝΙΚΑ

ΣΧΟΛΗ	ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ		
ΤΜΗΜΑ	ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ		
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	Προπτυχιακό		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ	344	ΕΞΑΜΗΝΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	8 ^ο
ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ	ΒΙΟΜΟΡΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ		
ΑΥΤΟΤΕΛΕΙΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ <i>σε περίπτωση που οι πιστωτικές μονάδες απονέμονται σε διακριτά μέρη του μαθήματος π.χ. Διαλέξεις, Εργαστηριακές Ασκήσεις κ.λπ. Αν οι πιστωτικές μονάδες απονέμονται ενιαία για το σύνολο του μαθήματος αναγράψτε τις εβδομαδιαίες ώρες διδασκαλίας και το σύνολο των πιστωτικών μονάδων</i>		ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΕΣ ΩΡΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
Διαλέξεις		3	3
Εργαστηριακές ασκήσεις		2	2
Σύνολο		5	5
<i>Προσθέστε σειρές αν χρειαστεί. Η οργάνωση διδασκαλίας και οι διδακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιγράφονται αναλυτικά στο (δ).</i>			
ΤΥΠΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ <i>γενικού υποβάθρου, ειδικού υποβάθρου, ειδίκευσης γενικών γνώσεων, ανάπτυξης δεξιοτήτων</i>	Επιστημονικής Περιοχής		
ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ:	Συνίσταται γνώση των μαθημάτων: Φυσική, Προγραμματισμός Υπολογιστών και Εφαρμογές, Βιοφυσική, Φυσική της Ζωής		
ΓΛΩΣΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ και ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ:	Ελληνική		
ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΠΡΟΣΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΦΟΙΤΗΤΕΣ ERASMUS	Όχι		
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ (URL)			

(2) ΜΑΘΗΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μαθησιακά Αποτελέσματα <i>Περιγράφονται τα μαθησιακά αποτελέσματα του μαθήματος οι συγκεκριμένες γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες καταλλήλου επιπέδου που θα αποκτήσουν οι φοιτητές μετά την επιτυχή ολοκλήρωση του μαθήματος.</i> <i>Συμβουλευτείτε το Παράρτημα Α</i> • Περιγραφή του Επιπέδου των Μαθησιακών Αποτελεσμάτων για κάθε ένα κύκλο σπουδών σύμφωνα με το Πλαίσιο Προσόντων του Ευρωπαϊκού Χώρου Ανώτατης Εκπαίδευσης • Περιγραφικοί Δείκτες Επιπέδων 6, 7 & 8 του Ευρωπαϊκού Πλαισίου Προσόντων Διά Βίου Μάθησης και το Παράρτημα Β • Περιληπτικός Οδηγός συγγραφής Μαθησιακών Αποτελεσμάτων
Το μάθημα <i>Βιομοριακές Προσομοιώσεις</i> είναι ένα εξειδικευμένο διεπιστημονικό μάθημα που προσφέρει μια ολοκληρωμένη πρώτη εικόνα της κλασσικής Υπολογιστικής Χημείας/Βιολογίας, Στόχος του μαθήματος είναι η εμφάνιση στη θεωρία και πρακτική των βιομοριακών προσομοιώσεων, με αποτέλεσμα την ποιοτική και ποσοτική κατανόηση κρίσιμων μικροσκοπικών μηχανισμών που συνδέονται με τη (δυσ)λειτουργία του κυττάρου αλλά και τη φαρμακευτική ανακάλυψη σε προκλινικό επίπεδο. Το μάθημα προσφέρει στους σπουδαστές μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των αρχών λειτουργίας και των εφαρμογών που προσφέρουν προηγμένες υπολογιστικές τεχνικές, επιτρέποντας τη μελέτη βιολογικών συστημάτων από τη σκοπιά της μικροσκοπικής δομής, θερμοδυναμικής και κινητική μεμονωμένων βιομορίων έως πιο περίπλοκες κυτταρικές διεργασίες, όπως αυτή της δημιουργία υδροσταγονιδίων. Τέλος εξετάζει θεμελιώδη ζητήματα όπως τη σχέση μικροσκοπικών αλληλεπιδράσεων και μακροσκοπικών ιδιοτήτων, αλλά και τη γεφύρωση χρονικών και χωρικών κλιμάκων μέσω βιομοριακών προσομοιώσεων.

Γνωστικά Αποτελέσματα (Γνώση & Κατανόηση)

1. Κατανοούν τη σύνδεση των μικροσκοπικών αλληλεπιδράσεων με τις μακροσκοπικές ιδιότητες βιομορίων.
2. Κατανοούν τα διαφορετικά μοντέλα μοριακών αλληλεπιδράσεων μοριακής μηχανικής (AMBER, CHARMM) και τις εφαρμογές τους σε διαφορετικούς τύπους βιομορίων.
3. Κατανοούν τις θεμελιώδεις αρχές θεωρίας και λειτουργίας των προσομοιώσεων Μοριακής Δυναμικής (MD) και Monte Carlo (MC). Διακρίνουν διαφορετικούς μηχανισμούς πρωτεϊνικής αναδίπλωσης (protein folding) και διαμορφωτικών αλλαγών (protein conformational changes) σε πρωτεΐνες βιοτεχνολογικού ενδιαφέροντος.
4. Αναγνωρίζουν τις δυνατότητες και τους περιορισμούς των ατομιστικών βιομοριακών προσομοιώσεων Μοριακής Δυναμικής. Α) Το πρόβλημα της γεφύρωσης κλίμακας χρόνου (timescale problem) β) Το πρόβλημα γεφύρωσης κλίμακας χώρου (lengthscale problem).
5. Κατανοούν τις αρχές της μοριακής κινητικής και των προσομοιώσεων Μοριακής Δυναμικής Ενισχυμένης Δειγματοληψίας (Enhanced Sampling MD). Κατανοούν τον μηχανισμό αλληλεπίδρασης και την κινητική αποδέσμευσης αντικαρκινικού φαρμάκου από πρωτεϊνικό στόχο.
6. Κατανοούν τις αρχές λειτουργίας Αδροποιημένων Προσομοιώσεων Μοριακής Δυναμικής (Coarse Grained MD) που δίνουν πρόσβαση σε βιομοριακούς μηχανισμούς μικρο-κλίμακας. Μέσω εφαρμογών CGMD βιβλιογραφίας, διακρίνουν τους μηχανισμούς και τη θερμοδυναμική του σχηματισμού υγροσταγονιδίων και λιπιδικής διπλοστιβάδας παρουσία διαμεμβρανικών πρωτεϊνών.

Δεξιότητες Εφαρμογής

6. Σχεδιάζουν, εκτελούν και αναλύουν προσομοιώσεις μοριακής δυναμικής χρησιμοποιώντας πακέτα Μοριακής Δυναμικής GROMACS και OpenMM, και ανάλυσης σε γλώσσα Python.
7. Κατασκευάζουν μοντέλα Markov (MSM) για την ανάλυση της κινητικής ισορροπίας και θερμοδυναμικής πρωτεϊνικής αναδίπλωσης.
8. Εφαρμόζουν τεχνικές Μοριακής Δυναμικής Ενισχυμένης Δειγματοληψίας για τη μελέτη κινητικής και θερμοδυναμικής βιομοριακών μεταβάσεων, όπως (από)δέσμευση αντικαρκινικού φαρμάκου από την πρωτεΐνη στόχο.
9. Χρησιμοποιούν αδροποιημένα μοντέλα (CALVADOS) για προσομοιώσεις Μοριακής Δυναμικής μικροκλίμακας με εφαρμογές στο σχηματισμό υγροσταγονιδίων και λιπιδικής διπλοστιβάδας παρουσία διαμεμβρανικών πρωτεϊνών.

Δεξιότητες Ανάλυσης & Σύνθεσης

10. Αναλύουν τροχιές προσομοιώσεων για την εξαγωγή θερμοδυναμικών και κινητικών ιδιοτήτων
11. Αξιολογούν την ποιότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων και επιλέγουν κατάλληλες μεθόδους.
12. Συγκρίνουν διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις και προτείνουν βέλτιστες στρατηγικές για συγκεκριμένα βιολογικά προβλήματα.
13. Ερμηνεύουν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων σε σχέση με τα πειραματικά δεδομένα και τη βιολογική λειτουργία.

Δεξιότητες Αξιολόγησης & Δημιουργίας

15. Σχεδιάζουν ερευνητικά πρωτόκολλα για τη μελέτη συγκεκριμένων βιομοριακών φαινομένων (αναδίπλωση, διαμορφωτικές αλλαγές, διαχωρισμός φάσεων)
16. Συνδυάζουν διαφορετικές υπολογιστικές τεχνικές για την κατανόηση βιολογικών μηχανισμών σε ατομιστικό επίπεδο.
17. Παρουσιάζουν αποτελέσματα με επιστημονικά αυστηρό τρόπο.

Δεξιότητες Κριτική Σκέψης και Συνεργασίας

19. Αναπτύσσουν κριτική σκέψη για τους περιορισμούς και τις δυνατότητες των υπολογιστικών μεθόδων.

20. Συνεργάζονται αποτελεσματικά σε projects υπολογιστικής βιολογίας.

Γενικές Ικανότητες

Λαμβάνοντας υπόψη τις γενικές ικανότητες που πρέπει να έχει αποκτήσει ο πτυχιούχος (όπως αυτές αναγράφονται στο Παράρτημα Διπλώματος και παρατίθενται ακολούθως) σε ποια / ποιες από αυτές αποσκοπεί το μάθημα;.

Αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση δεδομένων και πληροφοριών, με τη χρήση και των απαραίτητων τεχνολογιών

Προσαρμογή σε νέες καταστάσεις

Λήψη αποφάσεων

Αυτόνομη εργασία

Ομαδική εργασία

Εργασία σε διεθνές περιβάλλον

Εργασία σε διεπιστημονικό περιβάλλον

Παράγωγή νέων ερευνητικών ιδεών

Σχεδιασμός και διαχείριση έργων

Σεβασμός στη διαφορετικότητα και στην πολυπολιτισμικότητα

Σεβασμός στο φυσικό περιβάλλον

Επίδειξη κοινωνικής, επαγγελματικής και ηθικής υπευθυνότητας

και ευαισθησίας σε θέματα φύλου

Άσκηση κριτικής και αυτοκριτικής

Προαγωγή της ελεύθερης, δημιουργικής και επαγωγικής σκέψης

1.Απόκτηση γνώσεων ορολογίας και δεξιοτήτων σωστής περιγραφής.

2.Ανάπτυξη αναλυτικών & κριτικών ικανοτήτων .

3.Ανάπτυξη δεξιοτήτων για την επίλυση προβλημάτων.

4.Αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση δεδομένων και πληροφοριών, με τη χρήση και των απαραίτητων τεχνολογιών.

5.Σύνδεση γνώσεων με την πραγματικότητα και τις εφαρμογές.

6.Ανάπτυξη δεξιοτήτων για λήψη αποφάσεων, αποτελεσματική ομαδική εργασία και προσαρμογή σε νέες καταστάσεις.

7.Επίδειξη κοινωνικής, επαγγελματικής και ηθικής υπευθυνότητας.

8.Σεβασμός στο εργασιακό και φυσικό περιβάλλον.

9.Προαγωγή της ελεύθερης, δημιουργικής και επαγωγικής σκέψης.

(3) ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

I. Θεωρία

Εισαγωγή: Βιομοριακή δυναμική: το παράδοξο του Levinthal. Πρόβλεψη βιομοριακών δομών με αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης: AlphaFold, RosettaFold, βασικές αρχές λειτουργίας. Η σημασία των βιομοριακών προσομοιώσεων ως εργαλείο σύνδεσης των μικροσκοπικών αλληλεπιδράσεων και της στατιστικής θερμοδυναμικής με την πρόβλεψη μακροσκοπικών κινητικών και θερμοδυναμικών ιδιοτήτων.

Σύνδεση Θερμοδυναμικής και Στατιστικής Θερμοδυναμικής ως το θεωρητικό υπόβαθρο των βιομοριακών προσομοιώσεων: Βασικές θερμοδυναμικές εξισώσεις. Κριτήρια θερμοδυναμική ισορροπίας. Στατιστικά σύνολα ισορροπίας. Στατιστική ερμηνεία της εντροπίας. Θερμική ισορροπία και κατανομή Boltzmann. Συνάρτηση μερισμού

Μοντελοποίηση μοριακών αλληλεπιδράσεων: Μοντέλο μοριακών αλληλεπιδράσεων μοριακής μηχανικής. Επισκόπηση βέλτιστων μοντέλων μοριακής μηχανικής για διαφορετικούς τύπους βιομορίων (αναδιπλωμένες πρωτεΐνες, διαμεμβρανικές πρωτεΐνες, εγγενώς μη διατεταγμένες πρωτεΐνες, DNA, RNA, λιπίδια): AMBER, CHARMM.

Μοριακή Δυναμική (MD). Εξίσωση κίνησης Νεύτωνα και χρονοεξέλιξης μοριακής τροχιάς. Μοριακές προσομοιώσεις σε σταθερή ενέργεια (NVE), θερμοκρασία/πίεση (NVT, NPT). Αποτελεσματικός υπολογισμός διαμοριακών αλληλεπιδράσεων. Υπολογισμός μακροσκοπικών ιδιοτήτων. Παράδειγμα πρωτοκόλλου Μοριακής Δυναμικής σε εφαρμογή αναδίπλωσης πρωτεΐνης βιοτεχνολογικού ενδιαφέροντος.

Monte Carlo (MC). Αρχές της μεθόδου: Αλυσίδες Markov και ισοζύγιο πιθανότητας (detailed balance). Ο Αλγόριθμος δειγματοληψίας Metropolis. Παραδείγματα δειγματοληψίας διαμορφωτικού χώρου αναδίπλωσης και συσσωμάτωσης εγγενώς μη διατεταγμένων πρωτεϊνών σε πλέγμα (lattice model), υπό σταθερή θερμοκρασία (NVT).

Σπάνια γεγονότα. Το πρόβλημα της αργής δειγματοληψίας της Μοριακής Δυναμικής.

Ανάλυση κινητικής ισορροπίας βιομοριακών συστημάτων μέσω μοντέλων Markov (Markov State Model). Βήματα για την κατασκευή ενός MSM. Παράδειγμα πρωτεϊνικής αναδίπλωσης πρωτεΐνης βιολογικού ενδιαφέροντος, εξαγωγή ατομιστικού μηχανισμού, θερμοδυναμικής και κινητικής της αναδίπλωσης.

Προσομοιώσεις πολλαπλής κλίμακας I: Διανύοντας την κλίμακα χρόνου.

Επισκόπηση μεθόδων ενισχυμένης δειγματοληψίας. Η συντεταγμένη της αντίδρασης. Τεχνικές εύρεσης της συντεταγμένης της αντίδρασης. Παραδείγματα εφαρμογών μεθόδων ενισχυμένης δειγματοληψίας για το χαρακτηρισμό της κινητικής και θερμοδυναμικής του μοριακού μηχανισμού (από)δέσμευσης αντικαρκινικού φαρμάκου από το στόχο.

Προσομοιώσεις πολλαπλής κλίμακας II: Διανύοντας την κλίμακα χώρου.

Αδροποιημένα μοντέλα μοριακής μηχανικής (Coarse Grained Models). Το πεδίο δυνάμεων Martini. Το πεδίο δυνάμεων CALVADOS. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα προτύπων CG. Παραδείγματα χρήσης CG μοντέλου σε προσομοιώσεις μοριακής δυναμικής στην πρόβλεψη διαγράμματος φάσης υγρού-υγρού εγγενώς μη διατεταγμένων πρωτεϊνών και σχηματισμού λιπιδικής διπλοστιβάδας παρουσία διαμεμβρανικών πρωτεϊνών.

II. Εργαστήριο: 1) Εισαγωγή στην Python. 2) Προσομοίωση μοριακής δυναμικής λυσοζύμης με χρήση Gromacs και Openmm. 3) Δειγματοληψία διαμορφωτικού συνόλου αναδίπλωσης και συσσωμάτωσης εγγενώς μη διατεταγμένης πρωτεΐνης Tau σε πλέγμα, με χρήση Monte Carlo. 4) Κατασκευή Markov State Model προς εξαγωγή ατομιστικού μηχανισμού, της θερμοδυναμικής και της κινητικής ισορροπίας αναδίπλωσης της πρωτεΐνης chignolin. 5) Προσομοίωση ενισχυμένης δειγματοληψίας Μεταδυναμικής για μελέτη μηχανισμού διαμορφωτικής αλλαγής διπεπτιδίου. 6) Χρήσης αδροποιημένου μοντέλου CALVADOS σε προσομοιώσεις Μοριακής Δυναμικής για την πρόβλεψη του διαγράμματος φάσης υγρού-υγρού της πρωτεΐνης FUS και την μελέτη του μικροσκοπικού μηχανισμού δημιουργίας υγροσταγονιδίων.

(4) ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ και ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ <i>Πρόσωπο με πρόσωπο, Εξ αποστάσεως εκπαίδευση κ.λπ.</i>	Στην τάξη και στο εργαστήριο (πρόσωπο με πρόσωπο)	
ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ <i>Χρήση Τ.Π.Ε. στη Διδασκαλία, στην Εργαστηριακή Εκπαίδευση, στην Επικοινωνία με τους φοιτητές</i>	Χρήση powerpoint διαφανειών, προσομοιώσεων μοριακής δυναμικής και monte carlo, βίντεο κλπ στις διαλέξεις, χρήση συστήματος ιστοσελίδων e-class στην ενημέρωση, διαδραστική εκπαίδευση (quiz), διάθεση εκπαιδευτικού υλικού, παράδοση & βαθμολόγηση ασκήσεων εργαστηρίου, επικοινωνία με τους φοιτητές.	
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ <i>Περιγράφονται αναλυτικά ο τρόπος και μέθοδοι διδασκαλίας. Διαλέξεις, Σεμινάρια, Εργαστηριακή Άσκηση, Άσκηση Πεδίου, Μελέτη & ανάλυση βιβλιογραφίας, Φροντιστήριο, Πρακτική (Τοποθέτηση), Κλινική Άσκηση, Καλλιτεχνικό Εργαστήριο, Διαδραστική διδασκαλία, Εκπαιδευτικές επισκέψεις, Εκπόνηση μελέτης (project), Συγγραφή εργασίας / εργασιών, Καλλιτεχνική δημιουργία, κ.λπ. Αναγράφονται οι ώρες μελέτης του φοιτητή για κάθε μαθησιακή δραστηριότητα καθώς και οι ώρες μη καθοδηγούμενης μελέτης σύμφωνα με τις αρχές του ECTS</i>	Δραστηριότητα	Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου
	Διαλέξεις θεωρίας	39
	Εργαστηριακές ασκήσεις	12
	Εργασίες	20
	Αυτοτελής μελέτη	48
	Προαιρετική Πρόοδος	4
	Τελική Εξέταση	2
	Σύνολο Μαθήματος (25 ώρες φόρτου εργασίας ανά πιστωτική μονάδα)	125 (5 ECTS)

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΙΤΗΤΩΝ <i>Περιγραφή της διαδικασίας αξιολόγησης</i> <i>Γλώσσα Αξιολόγησης, Μέθοδοι αξιολόγησης, Διαμορφωτική ή Συμπερασματική, Δοκιμασία Πολλαπλής Επιλογής, Ερωτήσεις Σύντομης Απάντησης, Ερωτήσεις Ανάπτυξης Δοκιμίων, Επίλυση Προβλημάτων, Γραπτή Εργασία, Έκθεση / Αναφορά, Προφορική Εξέταση, Δημόσια Παρουσίαση, Εργαστηριακή Εργασία, Κλινική Εξέταση Ασθενούς, Καλλιτεχνική Ερμηνεία, Άλλη / Άλλες</i> <i>Αναφέρονται ρητά προσδιορισμένα κριτήρια αξιολόγησης και εάν και που είναι προσβάσιμα από τους φοιτητές.</i>	I. Θεωρία (50% συνολικού): Γραπτή τελική εξέταση (70%-100%.) που περιλαμβάνει: - Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής - Ερωτήσεις κρίσεως σύντομης απάντησης - Επίλυση προβλημάτων ανάπτυξης - Προαιρετική πρόοδος εργασιών (quiz) θετικής βαθμολογίας (μέγιστο 30%) II. Εργαστήριο (50% συνολικού): (α) 6 ομαδικές (2-3 άτομα) εργασίες ανάλυσης δεδομένων προσομοιώσεων (70%) με παράδοση γραπτών εβδομαδιαίων αναφορών. (β) Τελική ατομική εργασία (30%)
--	---

(5) ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<u>Ελληνική Βιβλιογραφία</u> 1) Σημειώσεις διδάσκοντα (έντυπο + pdf). 2) Α. Κολοκούρης. Υπολογιστική Χημεία – Μοριακές Προσομοιώσεις: Θεωρίες, Μέθοδοι και Εφαρμογές. Εκδόσεις Παρισιανού. 3) P. Atkins, J. De Paula, J. Keeler. Φυσικοχημεία, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 12^η εκδ. 2025. <u>E-books:</u> 4) Chontzopoulou, E., Kiriakidi, S., Zoumpoulakis, P., & Mavromoustakos, T. (2022). Principles in Computational Chemistry. Kallipos, Open Academic Editions. 5) Koutselos, A. (2015). Statistical Thermodynamics. Kallipos, Open Academic Editions. <u>Συμπληρωματική ξενόγλωσσή βιβλιογραφία</u> 6) Frenkel, Daan, Berend Smit Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications, Academic Press 3rd edition, 2023. 7) Allen, M. P., & Tildesley, D. J. Computer Simulation of Liquids, Clarendon Press, Oxford 1987. 8) Peters, Baron, Reaction Rate Theory and Rare Events, Elsevier, 2017. <u>Εργαστήριο:</u> Σημειώσεις διδάσκοντα.
