ΦΟΡΕΑΣ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
CYPRUS AGENCY OF QUALITY ASSURANCE AND ACCREDITATION IN HIGHER EDUCATION

Doc. 300.1.2

Higher Education Institution's Response

Date: 24/07/2023

- **Higher Education Institution:**
  University of Cyprus
- **Town: Nicosia**
- **Programme of study**
  Name (Duration, ECTS, Cycle)

  In Greek:

  Πτυχίο στη Φυσική (4 έτη/240 ECTS/1ος κύκλος)

  In English:

  Bachelor's in Physics (4 years/240 ECTS/1st cycle)
- **Language(s) of instruction: Greek**
- **Programme's status:** Currently Operating
- **Concentrations (if any):**

  In Greek: Concentrations
  In English: Concentrations

ΚΥΠΡΙΑΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
REPUBLIC OF CYPRUS

The present document has been prepared within the framework of the authority and competencies of the Cyprus Agency of Quality Assurance and Accreditation in Higher Education, according to the provisions of the "Quality Assurance and Accreditation of Higher Education and the Establishment and Operation of an Agency on Related Matters Laws" of 2015 to 2021 [L.136(I)/2015 – L.132(I)/2021].

A. Guidelines on content and structure of the report

- *The Higher Education Institution (HEI) based on the External Evaluation Committee's (EEC's) evaluation report (Doc.300.1.1 or 300.1.1/1 or 300.1.1/2 or 300.1.1/3 or 300.1.1/4) must justify whether actions have been taken in improving the quality of the programme of study in each assessment area. The answers' documentation should be brief and accurate and supported by the relevant documentation. Referral to annexes should be made only when necessary.*

- *In particular, under each assessment area and by using the 2nd column of each table, the HEI must respond on the following:*

  - *the areas of improvement and recommendations of the EEC*
  - *the conclusions and final remarks noted by the EEC*

- *The institution should respond to the EEC comments, in the designated area next each comment. The comments of the EEC should be copied from the EEC report **without any interference** in the content.*

- *In case of annexes, those should be attached and sent on separate document(s). Each document should be in *.pdf format and named as annex1, annex2, etc.*

1. Study programme and study programme's design and development

(ESG 1.1, 1.2, 1.7, 1.8, 1.9)

Areas of improvement and recommendations **by EEC**	Actions Taken by the Institution	For Official Use ONLY
The curriculum should include 1-2 new courses related to digital technologies, such as Machine Learning, AI and Quantum Computing in Physics, to better prepare the students for the new challenges in the job market and life. New faculty hirings should keep this aspect into consideration.	The Departmental Council has already decided to introduce two new specialization courses on quantum computing and machine learning in the undergraduate curriculum. These will be restricted elective courses, 6 ECTS each, taken by 3rd and 4th year students. The syllabi of the courses (ANNEX 1) have been discussed thoroughly and approved at the Departmental Council meeting of June 2nd, 2023, and they have been forwarded to the Committee of Undergraduate Studies of the University for approval. The syllabus of an existing undergraduate specialization course, PHY445 – Electronic Systems, will be updated in order to cover topics on quantum technologies. The syllabi of core courses on quantum mechanics and introductory computational physics courses will be updated in order to introduce emerging fields such as quantum computing and quantum technologies. The instructors of the courses will present specific proposals concerning the modifications in the next Departmental meeting in September.Among the strategic goals of the Department is to expand in novel, cutting-edge directions in Physics including quantum computing and computational physics – data science – machine learning and their applications to elementary particle physics and biophysics. These directions will be considered for appointments in the near future. Excellent candidates in these areas can help the Department face the	Choose level of compliance:

	challenge of evolving into the next generation and ensure continuity in research and teaching excellence and visibility at the international level. We expect the University Authorities to allocate faculty positions to the Department of Physics in order to fill the vacancies due to the upcoming retirements and be able to implement our plans to expand into novel directions in Physics.	
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:

2. Student – centred learning, teaching and assessment

(ESG 1.3)

Areas of improvement and recommendations **by EEC**	Actions Taken by the Institution	For Official Use ONLY
No weaknesses have been identified by the Committee.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:

3. Teaching staff

(ESG 1.5)

Areas of improvement and recommendations **by EEC**	Actions Taken by the Institution	For Official Use ONLY
In view of the upcoming wave of retirement of as many as 50% of current faculty members within the next few years, it is absolutely necessary to fill-in the vacant positions with new hires, so that the current, adequate offer in teaching can be continued at the same completeness and level.	We fully agree with the EEC that the University needs to take immediate actions towards the replacement of all vacancies due to the upcoming retirements. The Department has already contacted and submitted to the Rector's Council, the Planning and Development Committee and the Dean of the School of Pure and Applied Sciences a detailed analysis of its needs in faculty personnel due to the upcoming retirements, taking into account its strategic plan for the period 2021 – 2025. We are expecting concrete feedback from the University Authorities and the allocation of new faculty positions in order to initiate the process of filling all vacancies due to retirements. This is imperative for the Department so as to continue fulfilling adequately its mission and its educational programmes.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:

4. Student admission, progression, recognition and certification
(ESG 1.4)

Areas of improvement and recommendations **by EEC**	Actions Taken by the Institution	For Official Use ONLY
The Committee urges that efforts be intensified to attract a larger number of entering Cypriot and/or foreign students. It recommends that the language of instruction at the Bachelor's level be changed into English, removing thereby a serious barrier for the enrollment of foreign students.	The Department will intensify its efforts in advertising its educational programmes with the organization of more visits to both public and private high schools, participation/organization of open days, summer internships aimed at excellent high school students interested in physics, open days for Turkish Cypriot students and students from Greece. We will also enhance the visibility of the Department in the social media. The Department will consider increasing the number of the incoming undergraduate students but not at the expense of the quality of its programme and level of the student body. Changing the language of instruction to English can indeed help attract more foreign students to the undergraduate programme, both from Europe and the Middle East as well as Turkish Cypriots. However, this would require actions at the level of the University and the Parliament of the Republic of Cyprus. We note that six undergraduate courses are already prepared to be taught in English for Erasmus and YUFE students.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:

5. Learning resources and student support

(ESG 1.6)

Areas of improvement and recommendations **by EEC**	Actions Taken by the Institution	For Official Use ONLY
The reading list assigned by teaching personnel for some undergraduate courses includes books that are too expensive to buy and the copies available at the library are insufficient.	The Department in consultation with students and the course instructors will file requests to increase the number of available copies of teaching textbooks and electronic copies at the library.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:

6. Additional for doctoral programmes

(ALL ESG)

Areas of improvement and recommendations **by EEC**	Actions Taken by the Institution	For Official Use ONLY
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:

7. Eligibility (Joint programme)
(ALL ESG)

Areas of improvement and recommendations **by EEC**	Actions Taken by the Institution	For Official Use ONLY
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:

B. Conclusions and final remarks

Conclusions and final remarks **by EEC**	Actions Taken by the Institution	For Official Use ONLY
Following the discussion in the more specific sections above, the Committee concluded that the study programmes adhere to high international standards in all aspects: content, implementation, quality assurance, student support and connection to society. The continuation of these activities at the same level requires adequate scientific personnel, rendering thereby indispensable the filling of the upcoming vacancies in faculty positions through new hirings in the Department of Physics. The new hirings should reflect current trends in research and teaching, carrying thereby this unique Department in the Republic of Cyprus well into the 21st Century.	The Physics Department is the only tertiary education Institution in Cyprus offering undergraduate and graduate programmes and cutting-edge research in Physics. As the EEC recognizes it is ''indispensable that the Department not only continues but also strengthens and expands its operation after the "generation change" induced by upcoming retirements of as much as 50% of its current staff.'' The University Authorities should allocate faculty positions to the Department in order to fill the resulting vacancies and not compromise in any way the smooth implementation of the Department's mission. The Department is committed in attracting excellent personnel, capable of producing high quality, cutting-edge research and supporting high quality educational programmes. It is our intention and part of our strategic plan to expand into novel, internationally booming areas of Physics, as suggested and discussed thoroughly with the EEC. Cutting-edge directions in Physics such as quantum computing, new materials – nanophysics – quantum and biomaterials, computational physics – data science – machine learning and their applications to elementary particle physics and biophysics, astroparticle physics and cosmology, elementary particle physics and ongoing international experiments and applications, and applications to medical physics can form the basis of future appointments and provide a succession plan to address the challenge of the	Choose level of compliance:

	upcoming retirements. Excellent candidates in these areas will certainly help the Department face the challenge of evolving into the next generation and ensure continuity in research and teaching excellence and visibility at the international level.	
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:
Click or tap here to enter text.	Click or tap here to enter text.	Choose level of compliance:

ANNEX 1

<table>
<tr><td>Course Title</td><td colspan="5">Introduction to Machine Learning for Physicists</td></tr>
<tr><td>Course Code</td><td colspan="5">PHY 460</td></tr>
<tr><td>Course Type</td><td colspan="5">Restricted Elective - Specialization course</td></tr>
<tr><td>Level</td><td colspan="5">Undergraduate</td></tr>
<tr><td>Year / Semester</td><td colspan="5">3rd / 4th year</td></tr>
<tr><td>Teacher’s Name</td><td colspan="5">Visiting professor/special scientist who is PhD holder in Physics</td></tr>
<tr><td>ECTS</td><td>6</td><td>Lectures / week</td><td>1 (2 hours)</td><td>Laboratories / week</td><td>1 (2 hours)</td></tr>
<tr><td>Course Purpose and Objectives</td><td colspan="5">To introduce modern machine learning techniques to physics students. To emphasize the power and applicability of neural networks in achieving spectacular performances in solving various problems surpassing humans. To enable students by hands-on exercises and practice to develop the skills to train simple to medium complexity neural networks in order to solve diverge challenging tasks, including image recognition and natural language processing by training them on many examples. To introduce the students to applicability of neural networks in physics, ranging from prediction of material science and biophysics to particle physics and astronomy. To recognize the limitations and biases that could be introduced by the use of the adopted neural network training and understand the accuracy that can be achieved. To enable them to use the developed skills to solve phase transitions problems, protein folding and understand and expand properties of bio-materials, new battery construction, to astronomy or to search for exotic particles in particle physics.</td></tr>
<tr><td>Learning Outcomes</td><td colspan="5">By the end of the course, it is expected that the students to:
• Learn how neural networks look like.
• Train neural networks efficiently.
• Recognize images.
• Learn a compact representation of data without providing any extra information.
• Analyze time series and sentences.
• Discover strategies from scratch without teacher.
• Use neural networks in solving problems from physics
• Recognize and apply machine learning techniques in everyday problems.</td></tr>
</table>

Prerequisites	Basics of Python programming	Required	Officially none

Course Content	• Introduction to machine learning; polynomial regression; basics of statistical learning theory; bias-variance decomposition. • Gradient Descent and Newton's method and its limitations; descent (SGD); Bayesian Inference. Examples and hands-on exercises drawn from particle physics and/or astronomy. • Stochastic gradient; Linear regression with the least-square, LASSO, and sparse regression methods; logistic regression, cross-entropy as a cost function; Examples of binary classification. • Boosting, random forests, gradient boosted trees, XGBoost, and applications. Examples and hands-on exercises from particle physics and/or condensed matter physics or biophysics. • Feed-Forward Deep Neural Networks (DNNs), back-propagation algorithm, regularizing neural networks, hyper-parameter tuning, dropout and batch normalization. • Convolutional Neural Networks (CNNs). Hands-on exercise from particle physics and/or biophysics. • Dimensional Reduction and Data Visualization, principal component analysis (PCA), multidimensional scaling. • Clustering: k-means, hierarchical, Density-based (DB); clustering in high dimensions. Practice with problems drawn from particle physics and/or astrophysics and/or biophysics.
Teaching Methodology	Lectures and compulsory laboratory sessions during which the students can have hands on experience and develop the skills and practice the use of the various concepts of the Machine Learning process and its applicability in a variety of problems drawn from experimental and theoretical particle physics, astronomy, statistical physics, biophysics and material physics.
Bibliography	• "Machine Learning for Physics and Astronomy" - Viviana Acquaviva - Princeton University Press. • "Neural Networks and Deep Learning" – M. Nielsen – http://neuralnetworksanddeeplearning.com. • "Deep Learning" – I. Goodfellow et al. – pub. MIT Press book. • "A high-bias, low-variance introduction to Machine Learning for physicists" – P. Mehta et al. – arXiv:1803.08823. • "Machine learning and the physical sciences" – G. Carleo et al. – arXiv:1903.10563.

	• "Machine Learning for Physicists" – F. Marquardt – https://machine-learning-for-physicists.org
Assessment	The final grade mark is based on a continuous evaluation scheme outlined as follows. • Weekly laboratory exercises and problem solving in close collaboration with the instructor for immediate addressing of any problems or misunderstandings. (10%) • Biweekly homework problems inspired from other physics courses (20%). • Development, implementation, execution and presentation of the results of a project inspired directly from a contemporary research topic (30%). • A written midterm examination (15%) and a final written examination (25%). Failure to satisfy the evaluation requirements the course needs to be repeated along with all requirements of the evaluation scheme.
Language	Greek/English depending on the audience. Available to Erasmus and YUFE students.

Τίτλος Μαθήματος	**Εισαγωγή στην Μηχανική Μάθηση για Φυσικούς**				
Κωδικός Μαθήματος	**ΦΥΣ 460**				
Τύπος μαθήματος	Περιορισμένης Επιλογής - Εξειδίκευσης				
Επίπεδο	Προπτυχιακός				
Έτος / Εξάμηνο φοίτησης	3ο / 4ο έτος				
Όνομα Διδάσκοντα	Επισκέπτης Καθηγητής/ Ειδικός Επιστήμονας κάτοχος διδακτορικού στη Φυσική				
ECTS	6	Διαλέξεις / εβδομάδα	1 (2 ώρες)	Εργαστήρια / εβδομάδα	1 (2 ώρες)
Στόχοι Μαθήματος	Παρουσίαση στους φοιτητές της φυσικής των σύγχρονων τεχνικών μηχανικής μάθησης. Έμφαση στη δύναμη και εφαρμοστικότητα των νευρωνικών δικτύων και το πώς μπορούν να επιτύχουν εντυπωσιακές επιδόσεις στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων, ξεπερνώντας την ανθρώπινη ικανότητα. Να δοθεί η δυνατότητα στους φοιτητές να αναπτύξουν δεξιότητες για την εκπαίδευση απλών έως μέτριας πολυπλοκότητας νευρωνικών δικτύων μέσω πρακτικών ασκήσεων, επιτρέποντάς τους να λύνουν προβλήματα ποικίλης δυσκολίας, συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης εικόνων και της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας μέσω εκπαίδευσης με πολλά παραδείγματα. Να εισαχθούν οι φοιτητές στην εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων στη φυσική, με προβλήματα που εμπλέκουν προβλέψεις στην επιστήμη υλικών και τη βιοφυσική μέχρι την σωματιδιακή φυσική και την αστρονομία. Να δοθεί η ικανότητα στους μαθητές να αναγνωρίζουν τους περιορισμούς και τις προκαταλήψεις που μπορούν να προκληθούν από τη χρήση της επιλεγμένης εκπαίδευσης νευρωνικών δικτύων και να κατανοήσουμε την ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση τους. Χρήση των αποκτούμενων δεξιοτήτων για την επίλυση προβλημάτων μεταβάσεων φάσης, πτυσσόμενων πρωτεϊνών και για την κατανόηση και διεύρυνση των ιδιοτήτων των βιο-υλικών, την κατασκευή νέων μπαταριών, την αστρονομία ή την αναζήτηση εξωτικών σωματιδίων στη φυσική σωματιδίων.				
Μαθησιακά Αποτελέσματα	Μέχρι το τέλος του μαθήματος, αναμένεται να μάθουν οι φοιτητές να: • Κατανοούν πώς φαίνονται τα νευρωνικά δίκτυα. • Εκπαιδεύουν αποτελεσματικά νευρωνικά δίκτυα. • Αναγνωρίζουν εικόνες. • Μάθουν μια συμπαγή αναπαράσταση δεδομένων χωρίς να παρέχουν επιπλέον πληροφορίες. • Αναλύουν χρονοσειρές και προτάσεις.				

<table>
<tr><td></td><td colspan="3">• Ανακαλύπτουν στρατηγικές από το μηδέν χωρίς τη χρήση δασκάλου.
• Χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα για την επίλυση προβλημάτων στη φυσική.
• Αναγνωρίζουν και εφαρμόζουν τεχνικές μηχανικής μάθησης σε καθημερινά προβλήματα.</td></tr>
<tr><td>Προαπαιτούμενα</td><td>Δεν υπάρχουν προαπαιτούμενα: Αναμένεται βασικές γνώσεις προγραμματισμού σε Python</td><td>Συναπαιτούμενα</td><td>Δεν υπάρχουν</td></tr>
<tr><td>Περιεχόμενο Μαθήματος</td><td colspan="3">• Εισαγωγή στη μηχανική μάθηση. Πολυωνυμική παλινδρόμηση. Βασικές έννοιες της θεωρίας στατιστικής μάθησης. Ανάλυση αποσύνθεσης παραμέτρου-διακύμανσης.
• Μέθοδοι Επικλινούς Καθόδου (Gradient Descent) και Newton και οι περιορισμοί τους. Μέθοδος Επικλινούς Καθόδου Τυχαίων Επιλογών (SGD). Συλλογιστική Bayes (Bayesian Inference). Παραδείγματα και ασκήσεις εφαρμογής από τη φυσική σωματιδίων και/ή αστρονομίας.
• Στοχαστικός γραμμικός τρόπος. Γραμμική παλινδρόμηση με τις μεθόδους ελάχιστων τετραγώνων, LASSO και αραιή παλινδρόμηση; λογιστική παλινδρόμηση, η εντροπία ή λογαριθμική πιθανότητα ως συνάρτηση κόστους καταλληλότητας (cross-entropy). Παραδείγματα δυαδικής ταξινόμησης.
• Προώθηση, τυχαία δάση, βελτιωμένα δέντρα, XGBoost και εφαρμογές τους. Παραδείγματα και ασκήσεις εφαρμογής από τη φυσική σωματιδίων και/ή την φυσική της συμπυκνωμένης ύλης ή τη βιοφυσική.
• Προώθησης Δικτύων Βαθιάς Μάθησης (DNNs), αλγόριθμος ανάστροφης διάδοσης, κανονικοποίηση νευρωνικών δικτύων, ρύθμιση υπερπαραμέτρων, εγκατάλειψη και ομαδοποίηση πακέτων (κανονικοποίηση ομάδας).
• Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα (CNNs). Πρακτική άσκηση από τη φυσική σωματιδίων και/ή τη βιοφυσική.
• Μείωση διαστάσεων και οπτικοποίηση δεδομένων, κύρια συνιστώσα ανάλυση (PCA), πολυδιάστατη κλιμάκωση.
• Ομαδοποίηση: k-means, ιεραρχική, βασισμένη στην πυκνότητα (DB); ομαδοποίηση σε υψηλές διαστάσεις. Πρακτική άσκηση με προβλήματα από τη φυσική σωματιδίων και/ή την αστροφυσική και/ή τη βιοφυσική.</td></tr>
<tr><td>Μεθοδολογία Διδασκαλίας</td><td colspan="3">Διαλέξεις και υποχρεωτικά εργαστήρια στα οποία οι φοιτητές μπορούν να αναπτύξουν πρακτική εμπειρία και να εμπεδώσουν τη χρήση διαφόρων ιδεών από τη διεργασία και εφαρμογή της Μηχανικής Μάθησης και της εφαρμοσιμότητάς της σε μια ποικιλία προβλημάτων παρμένα από τη πειραματική και θεωρητική φυσική στοιχειωδών σωματιδίων, αστρονομία, στατιστική φυσική, βιοφυσική, επιστήμη υλικών.</td></tr>
<tr><td>Βιβλιογραφία</td><td colspan="3">• “Machine Learning for Physics and Astronomy” - Viviana Acquaviva - Princeton University Press.</td></tr>
</table>

	• "Neural Networks and Deep Learning" – M. Nielsen – http://neuralnetworksanddeeplearning.com. • "Deep Learning" – I. Goodfellow et al. – pub. MIT Press book. • "A high-bias, low-variance introduction to Machine Learning for physicists" – P. Mehta et al. – arXiv:1803.08823. • "Machine learning and the physical sciences" – G. Carleo et al. – arXiv:1903.10563. • "Machine Learning for Physicists" – F. Marquardt – https://machine-learning-for-physicists.org
Αξιολόγηση	Ο τελικός βαθμός στηρίζεται σε ένα σχήμα συνεχούς αξιολόγησης ως ακολούθως: • Υποχρεωτικές εβδομαδιαίες εργαστηριακές ασκήσεις (10%). • Κατ' οίκον εργασίες κάθε δεύτερη εβδομάδα με επιλεγμένα προβλήματα από άλλα μαθήματα (20%). • Εκπόνηση και παρουσίαση μίας εργασίας από ερευνητική περιοχή της φυσικής (30%). • Μία ενδιάμεση γραπτή εξέταση (15%). • Μία τελική γραπτή εξέταση (25%). Αποτυχία στο μάθημα ή μέρους των υποχρεωτικών εργαστηρίων ισοδυναμεί με επανάληψη του μαθήματος και επαναξιολόγηση όλων των απαιτήσεων της αξιολόγησης.
Γλώσσα	Ελληνική/Αγγλική ανάλογα με το ακροατήριο. Διαθέσιμο σε φοιτητές Erasmus και YUFE.

<table>
<tr><td>Course Title</td><td colspan="5">Quantum Computing</td></tr>
<tr><td>Course Code</td><td colspan="5">PHY 450</td></tr>
<tr><td>Course Type</td><td colspan="5">Restricted elective – specialization course</td></tr>
<tr><td>Level</td><td colspan="5">Undergraduate</td></tr>
<tr><td>Year / Semester</td><td colspan="5">3rd - 4th year</td></tr>
<tr><td>Teacher’s Name</td><td colspan="5">Visiting professor/special scientist who is PhD holder in physics</td></tr>
<tr><td>ECTS</td><td>6</td><td>Lectures / week</td><td>2 (2 hours per lecture)</td><td>Tutorials / week</td><td>1 (1 hour per lecture)</td></tr>
<tr><td>Course Purpose and Objectives</td><td colspan="5">The goal of the course is to provide an introduction to quantum computing and quantum information theory. Students will learn essential theoretical concepts in the field as well as algorithmic approaches for quantum computation.</td></tr>
<tr><td>Learning Outcomes</td><td colspan="5">The students will be introduced to the basic concepts of quantum computation. They will be able to compare the basic characteristics of classical and quantum computing systems, and various known quantum algorithms. They will be introduced to complexity theory and learn how to design quantum programs. They will acquire skills in performing basic quantum computing operations, such as linear algebra, the quantum Fourier transform, the Deutsch problem and the Grover-Josza and Shor’s algorithms. They will be able to study and analyze quantum error correction codes, stabilizer formalism, and fault-tolerant quantum computing. They will be able to critically examine different physical implementations of quantum computing, including superconducting qubits, trapped ions, and topological qubits and understand the challenges of scaling up quantum systems and explore the current state of quantum hardware technology.

Hands-on sessions will provide practical experience to the taught material. The students will get experience in quantum programming languages and platforms such as Qiskit and they will be able to write and execute non-trivial quantum algorithms on real or simulated quantum hardware, such as those provided by IBMQ. The students will be able to employ these algorithms within the context of simple physical systems.</td></tr>
<tr><td>Prerequisites</td><td colspan="2">Quantum Mechanics I</td><td>Required</td><td colspan="2">None</td></tr>
<tr><td>Course Content</td><td colspan="5">Fundamentals: The Bloch sphere, Density operators, generalized measurements, no-cloning theorem. Bell inequalities and entanglement,</td></tr>
</table>

	Schmidt decomposition, super- dense coding, teleportation. **Quantum computation fundamentals**: Universal set of gates, quantum circuits, Solovay-Kitaev theorem **Quantum algorithms:** • Di Vincenzo's criteria for qubits and implementation of qubits and gates in physical systems • No-cloning theorem, superdense coding and quantum teleportation • The Deutsch-Josza algorithm • Complexity theory and the Church-Turing thesis • Grover's search algorithm **Quantum computation:** • RSA cryptography and Shor's algorithm • Quantum error correction and fault-tolerant quantum computing • Algorithmic approaches for noisy, intermediate-scale quantum devices: hybrid quantum/classical algorithms • Quantum simulation, the IBMQ
Teaching Methodology	The 4 hours of weekly lectures typically consist of: Brief review of previous lectures, introduction to new concepts, interdisciplinary links where appropriate, discussion and questions by the instructor and the students, exercises and applications of increasing difficulty, problem solving with the active participation of students. Emphasis is placed on modern extensions and applications of the course material. Lectures are delivered mostly on the blackboard, allowing for better comprehension, while descriptive elements or graphics are projected on a screen via a PC. Certain examples and complex problems will be studied via access to existing quantum computers abroad. For each of the homework sets handed out during the semester, students are given one week's time to explore questions and problems of increasing difficulty. Students are encouraged to collaborate in their homeworks; however, each student much prepare their own write-up of the answers. Past homeworks and exams, along with suggested solution sets, are uploaded on the course's website, and discussed in preparatory lectures before the final exam.
Bibliography	1. Phillip Kaye, Raymond Laflamme et. al., An introduction to Quantum Computing, Oxford University press, 2007. 2. Chris Bernhardt, Quantum Computing for Everyone, The MIT Press,Cambridge, 2020

	3. Quantum Computation and Quantum Information, M. A. Nielsen & I.Chuang, Cambridge University Press (2013).
Assessment	Homework; midterm exam; final exam
Language	Greek with English bibliography. In case need arises e.g. for ERASMUS students, it will be taught in English

Τίτλος Μαθήματος	**Κβαντικοί υπολογισμοί**				
Κωδικός Μαθήματος	**ΦΥΣ450**				
Τύπος μαθήματος	Περιορισμένης Επιλογής - Εξειδίκευσης				
Επίπεδο	Προπτυχιακό				
Έτος / Εξάμηνο φοίτησης	3ο / 4ο έτος				
Όνομα Διδάσκοντα	Επισκέπτης Καθηγητής / Ειδικός Επιστήμονας με Διδακτορικό στη Φυσική				
ECTS	6	Διαλέξεις / εβδομάδα	2 (2 ώρες ανά διάλεξη)	Φροντιστήριο / εβδομάδα	1 (1 ώρα ανά διάλεξη)
Στόχοι Μαθήματος	Στόχος του μαθήματος είναι η εισαγωγή σε κβαντικούς υπολογισμούς και στην επιστήμη της κβαντικής πληροφορίας. Οι φοιτήτριες/φοιτητές θα μάθουν τις θεμελιώδεις θεωρητικές αρχές του πεδίου, καθώς και αλγοριθμικές διαδικασίες και προσεγγίσεις για κβαντικούς υπολογισμούς.				
Μαθησιακά Αποτελέσματα	Οι φοιτητ(ρι)ες θα εισαχθούν στις βασικές αρχές του κβαντικού υπολογισμού. Θα είναι σε θέση να συγκρίνουν τα βασικά χαρακτηριστικά από συστήματα κβαντικού και κλασικού υπολογισμού, και διάφορους γνωστούς κβαντικούς αλγορίθμους. Θα εισαχθούν στη θεωρία πολυπλοκότητας και θα μάθουν πώς να σχεδιάζουν κβαντικά προγράμματα. Θα αποκτήσουν δεξιότητες στην πραγματοποίηση βασικών λειτουργιών κβαντικού υπολογισμού, όπως πράξεις γραμμικής άλγεβρας, κβαντικούς μετασχηματισμούς Fourier, το πρόβλημα Deutsch και τους αλγορίθμους Grover-Josza και Shor. Θα μπορούν να μελετήσουν και να αναλύσουν κβαντικούς κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων, φορμαλισμό σταθεροποίησης, και κβαντικούς υπολογισμούς ανεκτικούς σε σφάλμα. Θα μπορούν να εξετάσουν κριτικά διαφορετικές φυσικές εκτελέσεις των κβαντικών υπολογισμών, συμπεριλαμβανομένων των υπεραγώγιμων qubits, παγιδευμένων ιόντων, τοπολογικών qubits. Θα γνωρίζουν σε βάθος τις προκλήσεις στην αύξηση της κλίμακας κβαντικών συστημάτων και θα εξερευνήσουν την παρούσα κατάσταση της τεχνολογίας των κβαντικών hardware. Μέσω περιόδων πρακτικής εξάσκησης οι φοιτητ(ρι)ες θα αποκτήσουν εμπειρία στην διδαχθείσα ύλη. Συγκεκριμένα, θα αποκτήσουν εμπειρία σε γλώσσες και πλατφόρμες κβαντικού υπολογισμού όπως Qiskit, και θα είναι σε θέση να γράψουν και να εκτελέσουν μη-τετριμμένους				

<table>
<tr><td></td><td colspan="3">κβαντικούς αλγορίθμους είτε σε πραγματικά κβαντικά hardware είτε σε προσομοιωτές, όπως για παράδειγμα αυτά που παρέχονται στο δίκτυο IBMQ. Θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτούς τους αλγόριθμους στη μελέτη απλών φυσικών συστημάτων.</td></tr>
<tr><td>Προαπαιτούμενα</td><td>ΦΥΣ225</td><td>Συναπαιτούμενα</td><td>---</td></tr>
<tr><td>Περιεχόμενο Μαθήματος</td><td colspan="3">Εισαγωγικά: Η σφαίρα Bloch, Τελεστές πυκνότητες, Γενικευμένες Μετρήσεις, Θεώρημα μη-κλωνοποίησης.
Ανισότητες Bell και κβαντική εμπλοκή, αποσύνθεση Schmidt, υπέρ-πυκνή κωδικοποίηση, τηλεμεταφορά.
Θεμελιώδη στοιχεία κβαντικού υπολογισμού: Οικουμενικά σύνολα από λογικές πύλες, κβαντικά κυκλώματα, θεώρημα Solovay-Kitaev.

<u>Κβαντικοί αλγόριθμοι</u>:
- Κριτήρια Di Vincenzo για qubits. Εφαρμογή των qubits και των πυλών σε φυσικά συστήματα.
- Θεώρημα μη-κλωνοποίησης, υπερ-πυκνή κωδικοποίηση, κβαντική τηλεμεταφορά
- Ο αλγόριθμος Deutsch-Josza
- Θεωρία πολυπλοκότητας, αρχή Church-Turing
- Αλγόριθμος αναζήτησης Grover

<u>Κβαντικοί υπολογισμοί</u>:
- Κρυπτογραφία RSA και αλγόριθμος Shor
- Κβαντική διόρθωση λαθών και κβαντικοί υπολογισμοί ανεκτικοί σε σφάλματα
- Αλγοριθμικές προσεγγίσεις για κβαντικούς μηχανισμούς μεσαίας κλίμακας με θόρυβο: υβριδικοί κβαντικοί/κλασικοί αλγόριθμοι
- Κβαντική προσομοίωση, το δίκτυο IBMQ</td></tr>
<tr><td>Μεθοδολογία Διδασκαλίας</td><td colspan="3">Οι 4 εβδομαδιαίες ώρες διάλεξης τυπικά αποτελούνται από: σύντομη επανάληψη προηγουμένων διαλέξεων, εισαγωγή νέων εννοιών, διεπιστημονικές αναφορές όπου αρμόζει, συζήτηση με ερωτήσεις από διδάσκοντα και από φοιτητ(ρι)ες, ασκήσεις και εφαρμογές αύξουσας δυσκολίας, επίλυση προβλημάτων με την ενεργή συμμετοχή των φοιτητ(ρι)ών. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται σε σύγχρονες προεκτάσεις και</td></tr>
</table>

	εφαρμογές της ύλης του μαθήματος. Μεγάλος μέρος της διάλεξης χρησιμοποιεί τον μαυροπίνακα, για καλύτερη ευχέρεια στην εμπέδωση, ενώ κάποια περιγραφικά στοιχεία ή γραφήματα παρουσιάζονται μέσω Η/Υ σε οθόνη. Ορισμένα παραδείγματα και σύνθετα προβλήματα θα μελετηθούν με πρόσβαση σε υπάρχοντες κβαντικούς υπολογιστές του εξωτερικού. Σε κάθε μια από τις κατ'οίκον εργασίες κατα τη διάρκεια του εξαμήνου, οι φοιτητ(ρι)ες έχουν διορία μιας εβδομάδας για να ασχοληθούν με ερωτήσεις/προβλήματα διαβαθμισμένης δυσκολίας. Για την προετοιμασία των κατ'οίκον εργασιών γενικά ενθαρρύνεται η συνεργασία μεταξύ των φοιτητ(ρι)ών. Αναμένεται όμως ότι κάθε άτομο θα ετοιμάσει από μόνο του τις τελικές του απαντήσεις. Οι κατ'οίκον εργασίες και προηγούμενες εξετάσεις, μαζί με δείγματα επίλυσής τους, αναρτώνται στην ιστοσελίδα του μαθήματος, και αναλύονται σε διαλέξεις προετοιμασίας, πριν την τελική εξέταση.
Βιβλιογραφία	Phillip Kaye, Raymond Laflamme et. al., An introduction to Quantum Computing, Oxford University Press, 2007. Chris Bernhardt, Quantum Computing for Everyone, The MIT Press, Cambridge, 2020 Quantum Computation and Quantum Information, M. A. Nielsen & I. Chuang, Cambridge University Press (2013).
Αξιολόγηση	Ενδιάμεση εξέταση, Τελική εξέταση, κατ' οίκον εργασίες
Γλώσσα	Ελληνικά, με χρήση αγγλικής βιβλιογραφίας. Εάν χρειαστεί (π.χ., για φοιτήτριες/φοιτητές Erasmus), το μάθημα θα μπορεί να διδαχτεί και στα Αγγλικά.

C. Higher Education Institution academic representatives

Name	Position	Signature
Assoc. Prof. Nicolaos Toumbas	Chairperson	
Assoc. Prof. Spiros Skourtis	Vice Chairperson	
Assoc. Prof. George Archontis	Coordinator of Undergraduate Studies	
Prof. Fotios Ptochos	Coordinator of Graduate Studies	
Prof. Haralambos Panagopoulos	Member of the Departmental Quality Insurance Committee	

Date: 24/07/2023

5 Lemesou Avenue, 2112, Nicosia
T: + 357 22 504 340
F: + 357 22 504 392
e -mail: info@dipae.ac.cy