

An inquiry process of electing an educational model of the atom that would be valid for simulations of physical phenomena

Anargyros Drolapas, George Th. Kalkanis

*Science, Technology and Environment Laboratory,
Pedagogical Department of P.E., University of Athens*

adrolapas@primedu.uoa.gr, kalkanis@primedu.uoa.gr, <http://micro-kosmos.uoa.gr>

Abstract

The effectiveness of the use of educational models in order to achieve comprehension of basic concepts of science is continuously under review. Especially when it is about the representation of the basic structures of matter such as: the atomic model, particle physics, the duality of matter. The objective of this study is to select the most appropriate educational model of the atom so that it can be used as the basic component for computer simulations. Based on that educational atomic model we will construct many simulations aimed to depict many physical phenomena with particular emphasis on interactions among atoms and not only the movement of only one atom as a wide range of software packets usually does.

Introduction (Our Work's Frame – The Questions – Our Purpose)

An important concept in science's curriculum, for every education level, is the structure of matter. There have been proposed many didactic approaches about teaching that subject. Many studies have concluded that in order to succeed in a comprehensive, and coherent knowledge teachers should use epistemology references, educational models and references about scientific theories of Modern Physics. (Kalkanis G., Stavroy D. et al 2002, Mikelskis-Seifert S. 2002, Mikelskis-Seiferth S. and Leisner A.J. 2005, Clement J. 2000, Harrison Allan G. and Treagust David F. 1996). The use of references about the micro-world in a lesson may produce many of student's misconceptions mainly because they are used to think in a more macroscopic way. For example many students use the planetary system as an appropriate analogy of an atom's structure, where the sun is the nucleus and the planets are the electrons. Interaction with pupils or students about their comprehension on: how an educational model works, usually come across the same conclusion. That there are some misconceptions that keep appearing more often than others. (Νταλαούτη Π. και Τσαπαρλής Γ. 2004, Warren J. 2003, Petri Juergen and Niedderer Hans 1998)

The frequency of pupil's/student's misconceptions that we come across during the discussions about the structure of the matter lead us to the following questions:

- Is it possible for pupils/students to realize if an atomic model is consistent with Modern's Physics Principles?
- Can they describe in micro-worlds level a physical phenomenon with the use of an atomic model?
- Is there an atomic model that pupils/students may choose (with their own criteria) to use it in simulations?

Our aim in the present study is to select an atomic model that will cause the less misconceptions. A selection among the most common models we can come across in bibliography and in relevant software educational suites that use simulations. The key point of

this study is that we don't look for an atomic model that can represents the Hydrogen atom, as many studies do, but we are looking for the representation of a more complex atom, with many electrons that will be ideal for simulating various physical phenomena and that will contribute in our basic aim to represent those phenomena in micro-world's level.

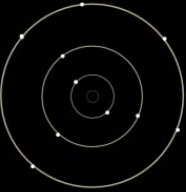

Our Proposal and Methodology

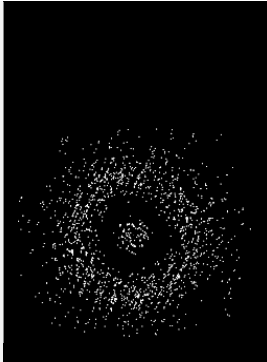

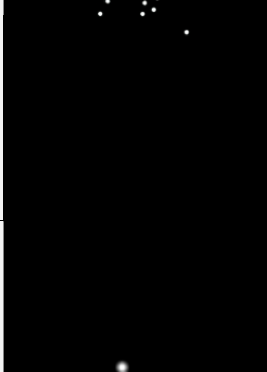
According the bibliography for schools, universities and in scientific articles about science education, there are mainly two types of atom's models:

1. Those that are based on Bohr's Model
2. And those that are based on the Quantum Mechanical Model.

Those two types got some advantages and disadvantages regarding science education. In our study we selected and worked with the most wide spread models (Table 1). Of course there are many other. We selected atoms that were based on different theories, and that were suitable for designing simulations of physical phenomena, by drawing snapshots on paper. In the following table we note the advantages and disadvantages of every model according relevant bibliography.

Table 1: A comparison table of the atomic models we selected for our study.

M o d e l A		Key Characteristics: Electrons are fixed on orbits around the nucleus.
		Advantages: Based on the widely established (in education) Bohr's Model.
		Disadvantages: <ul style="list-style-type: none"> • No explanation of the stability of atoms, • Can't be used for explanation of chemical bonds • Not in agreement with quantum mechanics and modern Physics' Theories
M o d e l B		Key Characteristics: The Electron consists of an extended continuously distributed substance called "Electronium", which is distributed around the nucleus based on probability density. There is no movement of the electron. White color symbolizes something possible and black something impossible. It's an atom's intersection.
		Advantages: <ul style="list-style-type: none"> • Interpretation of the solutions of the Schrödinger equation • Can be used for explanation of chemical bonds • In agreement with quantum mechanics and modern Physics' Theories
		Disadvantages: <ul style="list-style-type: none"> • Misconceptions about sub atomic particles • No repulsive forces interact between electrons

M o d e l C		Key Characteristics: Τα Electrons are like point objects with a specific probability at a certain position. The number of those points increases as time goes by creating areas with different probability density. It's an atom's intersection.
		Advantages: <ul style="list-style-type: none"> • Interpretation of the solutions of the Schrödinger equation • Can be used for explanation of chemical bonds • In agreement with quantum mechanics and modern Physics'
		Disadvantages: <ul style="list-style-type: none"> • Misconceptions about sub atomic particles • Unsuccessful representation of atom's movements
M o d e l D		Key Characteristics: Electrons are like point objects that appear and disappear randomly in an specific area . Nucleus is consisted of nucleons.
		Advantages: <ul style="list-style-type: none"> • Electrons are point objects but their movements are in areas, according their probability's density. • Can be used for explanation of chemical bonds
		Disadvantages: <ul style="list-style-type: none"> • Not in agreement with quantum mechanics and modern Physics' theories • Electron and nucleons movements and sizes can produce misconceptions
M o d e l E		Key Characteristics: Electrons are like point objects that appear and disappear randomly in an specific area . Nucleus is also a point.
		Advantages: <ul style="list-style-type: none"> • Electrons are point objects but their movements are in areas, according their probability's density. • Can be used for explanation of chemical bonds
		Disadvantages: <ul style="list-style-type: none"> • Not in agreement with quantum mechanics and modern Physics' theories • Nucleus got no structure

(Δημόπουλος 2005, Mikelskis-Seifert S. 2005, Dimopoulos V. and Kalkanis G. 2004-5, Budde M., Niederer H et al 2002)

The models above are 2D representations. Three of them are intersections (Models A,B,C) and the other two are like observing their 3D representation (Models D,E). The last two, when the electrons are near the nucleus is supposed to be in front of the nucleus as we observe the atom from a distance.

The sample

In our survey participated 18 undergraduate students (4 men / 14 women) of the Pedagogical Department of Primary Education (National and Kapodistrian University of Athens). Because

of their recently graduation from high school we can think of them partially as pupils (most of their knowledge about physical phenomena comes from their school years), and because they are studying to be teachers and they were interested in the subject of teaching science lessons we can also think of them as teachers-to-be. We organized five meetings with those students.

The methodology of the survey

In our department every student must attend our Physics Lab. (Is a mandatory lesson). The lab's duration is two semesters, once a week, for two hours. Because there are many students and they cannot work altogether at the lab, we split them in number of groups that perform their exercises, different days and hours. From six of those groups we selected randomly three students for our survey. We performed 5 meetings (once a week for one hour each) for five weeks.

In our first meeting we gave them a pre-test with five (multiple choice) questions about the atom's structure, about the structure of a solid body, what happens to atom's movements and distances in the solid body if we increase the temperature and one question about the structure of metals and electron cloud.

After the pre-test all the students attended a lecture about the atomic theories (old and modern), advantages and disadvantages of each, an explanation about chemical bonds, a quick presentation about Lennard – Jones potential. The structure of matter (solid-liquid-gas) and how the atoms move. And finally the way the electron cloud moves inside the metals. The purpose of that lecture and the pre-test was to discover if the students in our sample had questions or misconceptions about the subject of our survey (and the phenomena that we were about to experiment with).

After that first lecture and before every other meeting, we introduced to the student one of the five atomic models (Table 1). Every meeting was dedicated to a different model. There was always a simulation ready for every model, so that the students can watch the model in motion. After the presentation of the model, the students had to complete a work sheet.

In the work-sheet first of all there was a question. We were asking the students to describe if the specific model, as an image or as a moving image is clear for them what it represented. If there was something that they thought it should be different. After that question there were the snapshots. We were asking them to draw snapshots of physical phenomena into the micro-world (two for every phenomenon) using the specific model as the representation of the atom. The importance of drawing snapshots is obvious. By drawing two snapshots for every phenomenon they could present how they imagined a representation of the matter, using every atomic model. The phenomena that we asked the students to visualize were:

- Snapshots of the atomic model in two different times.
- Four (at least) atoms moving inside a solid/liquid/gas as we increase their kinetic energy by rising the temperature of the environment.
- Two atoms in a chemical bond (Covalent Bond)
- The inner structure of a metal and the interactions between ions and electron cloud (with or without a potential)

The snapshots that were produced from that procedure allowed us to observe how the students imagined and designed all those physical phenomena and the interactions of the atoms, or atoms and electrons into the micro-world. That way they realized that some models were more suitable for that process than others.

After every meeting the participants had to decide and judge each model according to a grading scale (Very Poor, Poor, Average, Very Good, Excellent) for every phenomenon. They could rank as Excellent more than one models.

At the end of our meetings the students had worked with all the atomic models and they had decided which models had advantages and disadvantages from an educational and/or scientific point of view.

The results

Beginning with the results of the pre-test we have to note that most of the students were completely correct. Obviously most of the students could imagine and describe the structure of the matter in a micro-world level. At the first question of work sheets all the students could understand what every model represented and tried to draw the representations we were asking them. The results of the participant's grades for every model are in Table 2. Those are the grades of all the students, even if their snapshot were scientifically incorrect.

Table 2: The evaluation of the atomic models from the participants.(All the answers)

Phenomena to draw:	The percentage of students that evaluated the model as "Very Good" or "Excellent"				
	Model A	Model B	Model C	Model D	Model E
an atom in time	78%	11%	33%	83%	78%
atomic movements as the temperature rises	72%	6%	6%	83%	78%
a chemical bond	39%	6%	22%	78%	83%
the structure of a metal	56%	6%	6%	83%	83%

We can point out that participants seem to prefer atomic models where the electrons are point objects, especially Models D and E where their main difference is the visibility of the nucleus. Their preference to those models was stronger for the more complex phenomena. On the other hand when we asked for the simple representation of an atom, they also preferred Model A (which is actually Bohr's Model).

The snapshots of the micro-world that the students designed wasn't correct (scientifically) always. Some students thought they had understood the way to represent for example the chemical bond but their designs were wrong. Especially when they were using the Model A. Then the electrons that participated in the bond seem to be static and so was the atoms. Those designs were similar with those static drawings that we usually come across in chemistry's

school books. When they were using other models for the same phenomenon, at the area of the bond there was a larger density of electrons, between the atoms.

Mistakes like the ones we mentioned about the chemical bond we could also find at the structure of the metals. A common mistake was that when there was an electric potential present near a metal, all the electrons (from the electron cloud and from ions) were moving to a certain direction. Leaving only the nucleus behind. According to the above observations we ignored the evaluations for models that their snapshots were incorrect. We removed those results from Table 2 and we constructed Table 3.

Table 3: The evaluation of the atomic models from the participants. (Only the scientifically correct answers)

Phenomena to draw:	The percentage of students that evaluated the model as “Very Good” or “Excellent”				
	Model A	Model B	Model C	Model D	Model E
an atom in time	78%	11%	33%	72%	78%
atomic movements as the temperature rises	61%	6%	6%	78%	78%
a chemical bond	11%	6%	22%	72%	83%
the structure of a metal	44%	6%	0%	67%	83%

After Table 3 we can point out that the Model E was evaluated with the higher grades and the participants used it successfully for their snapshots for all the phenomena. The second best was Model D.

Conclusions – Evaluation

This study was the beginning of a survey that will lead us in adopting an educational model of the atom that will be used in simulations of physical phenomena, in micro-world’s level. According to our observations on students’ evaluations of the models, they seem not to prefer Bohr’s Model or a model that is like an interpretation of the solutions of the Schrödinger equation for the representation of complex physical phenomena. Because it is necessary for us to be able to represent various physical phenomena into micro-world’s level, we find useful those atomic models that simulate complex phenomena. So the questions at the beginning of the study were answered successfully by the students. There is an atomic model that they selected, that they can understand it, and use it correctly.

Our survey’s participants were students of the Pedagogical department. Future teachers but still students that are trying to learn and understand Modern Physics’s theories. Already during their lessons at the university they have started to compose and design their own educational models that they will use in the future as teachers. Our aim is to help them, by providing simulations for the demanding subject of the micro-world.

Bibliography

Δημόπουλος Βασίλειος (2005) «Εκπαίδευση με τεχνολογίες πληροφόρησης στις φυσικές επιστήμες: προτάσεις και εφαρμογές κβαντικών προσεγγίσεων» Διδακτορική Διατριβή ΠΤΔΕ / ΕΚΠΑ

Νταλαούτη Π., Τσαπαρλής Γ. (2004) «Επιδιώκοντας την αποφυγή προσκόλλησης στο ατομικό μοντέλο του Bohr: Διδασκαλία ενός κβαντομηχανικού μοντέλου του ατόμου στο Δημοτικό Σχολείο», 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση.

Budde M., Niedderer H., Scott P. and Leach J.(2002). The quantic atomic model 'Electronium': a successful teaching tool Physics Education IOP Publishing Ltd

Budde M., Niedderer H., Scott P. and Leach J.(2002). 'Electronium': a quantum atomic teaching model. Physics Education IOP Publishing Ltd

Clement J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. Int. J Sci. Educ. Vol.22 No.9

Dimopoulos V., Kalkanis G., (2005). Simulating quantum states of the atom of hydrogen - A simulation program for non-physics major's students, European Conference on Research in Science Education (ESERA), August 28 – September 1, Barcelona, Spain

Dimopoulos V., Kalkanis G.,(2004). Quantum Physics for all – Using ICT to experiment and simulate quantum Principles. Physics and ICT in Teaching and Learning Process GIREP Ostrava

Harrison Allan G. and Treagust David F. (1996) Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. Science Education

Kalkanis G., Hadzidaki P., Stavroy D., (2002). An Instructional Model for a Radical Conceptual Change Towards Quantum Mechanics Concepts, Science Education.

Mikelskis-Seiferth S., Leisner A.J.(2005). Investigation of effects and stability in teaching model competence. Springer

Petri Juergen and Niedderer Hans, (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. International Journal of Science Education

Warren J (2003) 'Electronium'? No,thanks. Physics Education,

Mikelskis-Seifert, S. (2002). Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schölern. Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen. Logos Verlag Berlin

Αναζήτηση ενός εκπαιδευτικού μοντέλου του ατόμου για την προσομοίωση / οπτικοποίηση φυσικών φαινομένων

Ανάργυρος Δρόλαπας, Γεωργ. Θεοφ. Καλκάνης

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος,

Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών

adrolapas@primedu.uoa.gr, kalkanis@primedu.uoa.gr, <http://micro-kosmos.uoa.gr>

Περίληψη

Η αποτελεσματικότητα ή μη της χρήσης εκπαιδευτικών μοντέλων προκειμένου να επιτευχθεί η κατανόηση βασικών εννοιών των φυσικών επιστημών είναι μόνιμα υπό εξέταση. Ειδικά σε ότι έχει να κάνει με την παρουσίαση των βασικών δομών της ύλης όπως: τα υπο-ατομικά σωματίδια, το εσωτερικό του πυρήνα, τα στοιχειώδη σωματίδια, το δυϊσμό της ύλης. Στην παρούσα εργασία στόχος είναι η επιλογή του καταλληλότερου εκπαιδευτικού μοντέλου του ατόμου προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σαν δομικό στοιχείο για τη δημιουργία οπτικοποιήσεων / προσομοιώσεων. Η επιλογή αυτού του δομικού στοιχείου θα πρέπει να γίνει με γνώμονα το ότι θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση φυσικών φαινομένων στα οποία ιδιαίτερη έμφαση θα δίνεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων κι όχι απλά η παρουσίαση ενός και μόνο κινούμενου ατόμου όπως συναντάμε συνήθως σε αντίστοιχα λογισμικά (διαδικτυακά ή μη) και στη διεθνή βιβλιογραφία

Abstract

The effectiveness of the use of educational models in order to achieve comprehension of basic concepts of science is continuously under review. Especially when it is about the representation of the basic structures of matter such as: the atomic model, particle physics, the duality of matter. The objective of this study is to select the most appropriate educational model of the atom so that it can be used as the basic component for computer simulations. Based on that educational atomic model we will construct many simulations aimed to depict many physical phenomena with particular emphasis on interactions among atoms and not only the movement of only one atom as a wide range of software packets usually does.

Εισαγωγή (Το Πλαίσιο – Τα Ερωτήματα – Οι Στόχοι)

Ένα βασικό κομμάτι της διδακτέας ύλης των φυσικών επιστημών για όλα τα επίπεδα της εκπαίδευσης αποτελεί το θέμα της δομής της ύλης. Ένα θέμα που είναι υπό διερεύνηση, ως προς τον τρόπο προσέγγισης του. Έρευνες έχουν δείξει ότι για να επιτευχθεί η κατανόηση του αντικειμένου απαιτείται η χρήση επιστημολογικών αναφορών, εκπαιδευτικών μοντέλων καθώς και οι αναφορές σε ερευνητικά δεδομένα της σύγχρονης φυσικής. (Kalkanis G., Stavroy D. et al 2002, Mikelskis-Seifert S. 2002, Mikelskis-Seifert S. and Leisner A.J. 2005, Clement J. 2000, Harrison Allan G. and Treagust David F. 1996). Η διδασκαλία με αναφορές στο μικρόκοσμο δημιουργεί πολλές φορές παρανοήσεις στους μαθητές που έχουν συνηθίσει να σκέφτονται με έναν πιο μακροσκοπικό τρόπο. Για παράδειγμα η συνηθής αναγωγή όταν σκέφτονται τη δομή του ατόμου με το πλανητικό μοντέλο είναι ενδεικτική, όπου ο Ήλιος παίζει το ρόλο του πυρήνα του ατόμου και οι πλανήτες το ρόλο των ηλεκτρονίων. Η αλληλεπίδραση με τους μαθητές ή φοιτητές και η διερεύνηση του κατά πόσον μπορούν να αντιληφθούν ή όχι τι αντιπροσωπεύει ένα εκπαιδευτικό μοντέλο καταλήγει πολλές φορές σε παρόμοια συμπεράσματα. Ότι δηλαδή υπάρχουν κάποιες, συγκεκριμένες παρερμηνείες που συναντάμε συχνότερα από άλλες. (Νταλαούτη Π. και Τσαπαρλής Γ. 2004, Warren J. 2003, Petri Juergen and Niedderer Hans 1998)

Αυτή η συχνότητα με την οποία συναντάμε τις συνήθεις παρερμηνείες των μαθητών /φοιτητών για τη δομή της ύλης και πιο συγκεκριμένα για το ατομικό πρότυπο οδηγεί σε συγκεκριμένα ερωτήματα:

- Μπορούν οι μαθητές/φοιτητές να αντιληφθούν αν ένα ατομικό πρότυπο είναι σύμφωνο με τις αρχές της σύγχρονης φυσικής;
- Μπορούν με κάποιο ατομικό πρότυπο, σαν δομικό στοιχείο της ύλης, να περιγράψουν κάποιο φυσικό φαινόμενο μικροσκοπικά;
- Υπάρχει κάποιο ατομικό πρότυπο που να μπορούν να το επιλέξουν (με δικά τους κριτήρια) και ταυτόχρονα να το χρησιμοποιούν με σωστό, επιστημονικά, τρόπο;

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η επιλογή ενός μοντέλου για τη δομή του ατόμου που να αποφεύγει την πρόκληση παρερμηνειών. Επιλογή ενός προτύπου μέσα από όσα μπορεί να συναντήσει κανείς στην διεθνή βιβλιογραφία και σε διάφορα λογισμικά που περιλαμβάνουν προσομοιώσεις. Ένα βασικό στοιχείο που κάνει αυτή την έρευνα να διαφέρει από προγενέστερες της βιβλιογραφίας είναι ότι δεν αφορά το άτομο του υδρογόνου. Δε μένει στην απλή εφαρμογή ενός προτύπου στο πιο απλό άτομο της φύσης, αλλά επιδιώκει να χρησιμοποιήσει ένα άτομο με περισσότερα ηλεκτρόνια ώστε να είναι ικανό να προσομοιώσει σε μεταγενέστερο στάδιο τη δομή στερεών, υγρών και αερίων, καθώς και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων. Η χρήση αυτού του προτύπου, σαν δομικό στοιχείο για την κατασκευή προσομοιώσεων που θα παρουσιάζουν πλήθος φυσικών φαινομένων και θα συμβάλει στην ερμηνεία τους μέσα από το πρίσμα του μικροκόσμου είναι ο καταληκτικός στόχος της έρευνας.

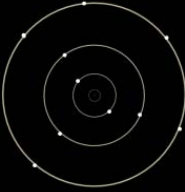


Η Πρόταση – Η Μεθοδολογία



Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία είτε αυτή έχει να κάνει με τα σύγχρονα σχολικά και πανεπιστημιακά συγγράμματα, είτε έχει να κάνει με τις επιστημονικές δημοσιεύσεις και ανακοινώσεις των τελευταίων ετών, οι τρόποι που επιλέγονται για να παρασταθεί ένα άτομο χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

1. Πρότυπα που παραπέμπουν στο άτομο του Bohr
2. Πρότυπα που παρουσιάζουν το άτομο σύμφωνα με τις αρχές της κβαντικής θεωρίας (σε διαφορετικό βαθμό το κάθε ένα)

Οι δύο αυτές κατηγορίες παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε ότι αφορά τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας επιλέχθηκαν κάποια από τα πιο διαδεδομένα ατομικά πρότυπα που μπορεί να συναντήσει κανείς στη βιβλιογραφία. Υπάρχουν φυσικά και άλλα, που όμως σε γενικές γραμμές βασίζονται στις ίδιες αρχές με αυτά που έχουν επιλεγεί. Σκοπός της έρευνας δεν ήταν το να επιλεγεί κάποιο μοντέλο που να αναπαριστά απλά με επιτυχία την εικόνα ενός ατόμου, αλλά και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσομοιώσει βασικά φαινόμενα των φυσικών επιστημών όπως: τους χημικούς δεσμούς καθώς και τις αλλαγές στην κατάσταση της ύλης. Τα μοντέλα που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Οι παρατηρήσεις στον πίνακα, σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε μοντέλου προκύπτουν από τη σχετική βιβλιογραφία.

Πίνακας 4: Συγκριτική παρουσίαση των ατομικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα

Μοντέλο Α		<p>Κύρια χαρακτηριστικά: Τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα σε καθορισμένες τροχιές.</p> <p>Πλεονεκτήματα: Ακολουθεί το πρότυπο του Bohr ένα ευρέως διαδεδομένο εκπαιδευτικό μοντέλο</p> <p>Μειονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δεν εξηγεί τη σταθερότητα του ατόμου, • Δεν μπορεί να προσομοιώσει τη δημιουργία χημικών δεσμών • Δεν είναι σε συμφωνία με τα σύγχρονα επιστημονικά δεδομένα
Μοντέλο Β		<p>Κύρια χαρακτηριστικά: Τα ηλεκτρόνια παριστάνονται σαν μια εκτεταμένη συνεχή κατανεμημένη ουσία που ονομάζεται "Electronium" η οποία είναι γύρω από τον πυρήνα βάσει την πυκνότητα πιθανότητας. Τα ηλεκτρόνια δεν κινούνται. Μεταβολές στο χρώμα που εκφράζει την πυκνότητα πιθανότητας δίνοντας την εντύπωση ενός υγρού που μεταβάλλεται. Η εικόνα του ατόμου σε τομή</p> <p>Πλεονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αποτελεί μια προσπάθεια παρουσίασης των λύσεων της εξίσωσης του Schrödinger • Μπορεί να προσομοιώσει χημικούς δεσμούς • Σε συμφωνία με τις αρχές της κβαντικής θεωρίας <p>Μειονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δημιουργεί παρερμηνείες στους μαθητές για την αναπαράσταση των ηλεκτρονίων και του πυρήνα • Δεν μπορεί να αποδώσει τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρονίων και μεταξύ ηλεκτρονίων και πυρήνα
Μοντέλο Γ		<p>Κύρια χαρακτηριστικά: Τα ηλεκτρόνια παριστάνονται σαν σημεία που παρουσιάζουν συγκεκριμένη πυκνότητα πιθανότητας να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο στη θέση αυτή ανάλογα με το πόσο πυκνά είναι. Τα σημεία αυτά αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου σαν να αφήνουν ίχνη τα ηλεκτρόνια με την πάροδο του χρόνου. Η εικόνα του ατόμου σε τομή</p> <p>Πλεονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αποτελεί μια προσπάθεια παρουσίασης των λύσεων της εξίσωσης του Schrödinger • Μπορεί να προσομοιώσει χημικούς δεσμούς • Σε συμφωνία με τις αρχές της κβαντικής θεωρίας <p>Μειονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δημιουργεί παρερμηνείες στους μαθητές για την αναπαράσταση των ηλεκτρονίων • Δεν μπορεί να αποδώσει κινήσεις ατόμων με επιτυχία

Μοντέλο Δ		<p>Κύρια χαρακτηριστικά: Τα ηλεκτρόνια παριστάνονται σαν τελείες που αλλάζουν τυχαία θέσεις. Ο πυρήνας παρουσιάζεται με την παρουσία νουκλεονίων. Τα ηλεκτρόνια και τα νουκλεόνια κινούνται σε τυχαίες θέσεις μέσα σε μια καθορισμένη περιοχή.</p>
		<p>Πλεονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Τα ηλεκτρόνια παρότι παριστάνονται σαν σωματίδια μπορούν να κινούνται σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας πιθανότητας • Μπορεί να προσομοιώσει χημικούς δεσμούς
		<p>Μειονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δεν είναι σύμφωνο με τις αρχές της κβαντικής θεωρίας • Η κίνηση των νουκλεονίων και οι διαστάσεις του πυρήνα σε σχέση με τα ηλεκτρόνια δημιουργούν παρερμηνείες στους μαθητές
Μοντέλο Ε		<p>Κύρια χαρακτηριστικά: Τα ηλεκτρόνια παριστάνονται σαν τελείες που αλλάζουν τυχαία θέσεις. Ο πυρήνας είναι σημειακός. Τα ηλεκτρόνια κινούνται σε τυχαίες θέσεις μέσα σε μια καθορισμένη περιοχή.</p>
		<p>Πλεονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Τα ηλεκτρόνια παρότι παριστάνονται σαν σωματίδια μπορούν να κινούνται σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας πιθανότητας • Μπορεί να προσομοιώσει χημικούς δεσμούς
		<p>Μειονεκτήματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δεν είναι σύμφωνο με τις αρχές της κβαντικής θεωρίας • Ο πυρήνας παρουσιάζεται σαν σημείο

(Δημόπουλος 2005, Mikelskis-Seifert S. 2005, Dimopoulos V. and Kalkanis G. 2004-5, Budde M., Niederer H et al 2002)

Η επιλογή των μοντέλων έγινε από ατομικά πρότυπα που παριστάνονται σε δύο διαστάσεις (2D). Κάποια από αυτά παρουσιάζονται σαν τομές της τρισδιάστατης πραγματικότητας (Μοντέλα Α,Β,Γ), ενώ τα υπόλοιπα παρουσιάζονται σαν την εικόνα του ατόμου εξωτερικά και από απόσταση (Μοντέλα Δ,Ε).

Το Δείγμα

Στην έρευνα συμμετείχαν φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών, οι οποίοι μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκονται κοντά στο γνωστικό επίπεδο μαθητών λυκείου. Είναι όμως και μια κατηγορία φοιτητών που είναι εκκολαπτόμενοι εκπαιδευτικοί, που γνωρίζουν ότι κάποια στιγμή στο μέλλον θα κληθούν να εξηγήσουν διάφορα φυσικά φαινόμενα στους μαθητές τους. Το θέμα της έρευνας, για αρκετούς φοιτητές, συνέπιπτε με δικούς τους προβληματισμούς, σχετικά με το πώς φανταζόντουσαν τη δομή του ατόμου και το πώς θα το διδάξουν στους μελλοντικούς μαθητές τους. Στην έρευνα συμμετείχαν 18 τελειόφοιτοι φοιτητές (αναλογία: 4 άντρες, 14 γυναίκες) με τους οποίους πραγματοποιήσαμε 5 συναντήσεις.

Μεθοδολογία της Έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε παράλληλα με το εργαστήριο φυσικής, που είναι υποχρεωτικό για το ΠΤΔΕ του ΕΚΠΑ και το οποίο διαρκεί 2 ώρες την εβδομάδα, για 2 εξάμηνα. Σε κάθε

συνάντηση υπήρχαν 3 φοιτητές, όσοι είναι και σε κάθε ομάδα του εργαστηρίου. Ο χρόνος συμμετοχής στην έρευνα ήταν περίπου μια ώρα την εβδομάδα για 5 εβδομάδες.

Στην πρώτη συνάντηση δόθηκε στους φοιτητές ένα pre-test (με τη μέθοδο των πολλαπλών επιλογών) που περιλάμβανε πέντε ερωτήσεις γύρω από τη δομή του ατόμου, το αν κινούνται τα άτομα που αποτελούν ένα στερεό σώμα, το πώς μεταβάλλεται η κινητική ενέργεια (και οι αποστάσεις μεταξύ) των ατόμων ανάλογα με τις αλλαγές της φυσικής κατάστασης των σωμάτων και το πώς συμπεριφέρονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στο εσωτερικό ενός μετάλλου.

Ανεξαρτήτως των απαντήσεων που έδιναν οι φοιτητές, στη συνέχεια παρακολουθούσαν μια διάλεξη γύρω από το ποιες ήταν οι παλιότερες ατομικές θεωρίες, γιατί εγκαταλείφθηκαν και τι πιστεύουμε σήμερα. Πώς πραγματοποιούνται οι χημικοί δεσμοί. Τι είναι το δυναμικό Lennard-Jones. Πώς κινούνται τα άτομα στο εσωτερικό ενός στερεού, ενός υγρού κι ενός αερίου. Και τέλος πώς κινούνται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στο εσωτερικό ενός μετάλλου. Ο σκοπός αυτής της μικρής διάλεξης ήταν το να λυθούν τυχόν απορίες σχετικά με την ατομική θεωρία καθώς και για μια σειρά σημαντικών φυσικών φαινομένων που μπορούν να εξηγηθούν μικροσκοπικά.

Στο τέλος της πρώτης συνάντησης (και σε κάθε μια από τις υπόλοιπες τέσσερις στη συνέχεια της έρευνας) ζητούσαμε από τους φοιτητές να χρησιμοποιήσουν ένα από τα πέντε υποψήφια μοντέλα. Χρησιμοποιούσαν δηλαδή ένα σε κάθε συνάντηση αφού πρώτα τους το παρουσιάζαμε. Υπήρχε πάντα μια προσομοίωση του εκάστοτε προτύπου με σκοπό να εξοικειωθούν με το κινούμενο ατομικό μοντέλο.

Το φύλλο αξιολόγησης του κάθε ατομικού προτύπου ζητούσε από τους συμμετέχοντες να περιγράψουν συνοπτικά αν όντως μπορεί να θεωρηθεί ότι το μοντέλο παρουσιάζει επιτυχημένα ένα άτομο. Και να εκφράσουν αν έχουν κάποια ένσταση ή απορία ως προς το σχεδιασμό του. Στη συνέχεια τους ζητούσαμε να σχεδιάσουν στιγμιότυπα από μια σειρά φαινομένων. Η αναγκαιότητα σχεδίασης στιγμιότυπων, όταν πρόκειται για προσομοιώσεις, είναι προφανής. Οποιαδήποτε κινούμενη αναπαράσταση αποτελείται από ένα πλήθος σταθερών εικόνων που εναλλάσσονται με τέτοια ταχύτητα που να δίνουν την ψευδαίσθηση στο μάτι ότι είναι κάτι κινούμενο. Αν σχεδιάσεις επιτυχημένα τα επιμέρους στιγμιότυπα, έχεις ουσιαστικά συνθέσει μια οπτικοποίηση. Τα στιγμιότυπα που ζητήθηκαν από τους φοιτητές να σκεφτούν και να σχεδιάσουν αφορούσαν:

- το πρότυπο του ατόμου με βάση το συγκεκριμένο μοντέλο
- τέσσερα (τουλάχιστον) άτομα με τα οποία να δείξουν τις κινήσεις που θα κάνουν αυτά καθώς αυξάνει η θερμοκρασία και κατά συνέπεια αυξάνει η κινητική τους ενέργεια (στο εσωτερικό ενός στερεού/υγρού/αερίου)
- δύο άτομα που σχηματίζουν έναν χημικό δεσμό (ομοιοπολικό)
- το εσωτερικό ενός μετάλλου και την αλληλεπίδραση των ατόμων με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια (με ή με χωρίς την παρουσία δυναμικού)

Όταν οι φοιτητές σχεδίαζαν στιγμιότυπα από τα πιο πάνω φαινόμενα, γινόταν σαφές το πώς φαντάζονται τις κινήσεις των ατόμων, τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και τις τυχόν αδυναμίες του κάθε μοντέλου.

Τελικό στάδιο της κάθε συνάντησης λοιπόν ήταν να βαθμολογήσουν οι συμμετέχοντες με μια κλίμακα 5 επιπέδων (Καθόλου, Λίγο, Μέτρια, Πολύ, Ιδανικά) το πόσο κατάλληλο/αποτελεσματικό έκριναν το εκάστοτε πρότυπο, στα επιμέρους φαινόμενα που έπρεπε να εξετάσουν, αλλά και συνολικά για όλα. Μπορούσαν να επιλέξουν σαν «Ιδανικό» περισσότερα του ενός.

Στο τέλος των πέντε εβδομάδων οι φοιτητές είχαν δοκιμάσει όλα τα υπονήφια ατομικά πρότυπα της έρευνας και τα επεξεργάστηκαν εντοπίζοντας με αυτόν τον τρόπο τις εκπαιδευτικές αδυναμίες και τα επιστημονικά σφάλματα του εκάστοτε μοντέλου στο να περιγράψει τα πιο πάνω φυσικά φαινόμενα.

Τα Αποτελέσματα της Έρευνας

Ξεκινώντας από τα αποτελέσματα του προελέγχου (pretest) στην συντριπτική τους πλειοψηφία οι φοιτητές απάντησαν σωστά στις ερωτήσεις δείχνοντας ότι διαθέτουν τις απαραίτητες γνώσεις για να περιγράψουν μικροσκοπικά τη δομή της ύλης. Σε ότι αφορά τα φύλλα αξιολόγησης των ατομικών προτύπων, όλοι οι συμμετέχοντες έδειξαν ότι αναγνώριζαν πως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το εκάστοτε μοντέλο σαν ατομικό πρότυπο. Εντόπιζαν τα δομικά του στοιχεία και τον τρόπο που κινούνται επιμέρους. Στο κομμάτι της σχεδίασης των στιγμιότυπων καθώς και της αξιολόγηση του κάθε ατομικού μοντέλου τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 2 που ακολουθεί. Στον Πίνακα βέβαια φαίνεται μόνο η βαθμολογία που έβαλαν οι φοιτητές χωρίς να κρίνεται αν τα στιγμιότυπα που σχεδίαζαν ήταν επιστημονικώς ορθά.

Πίνακας 5: Συγκεντρωτική παρουσίαση της αξιολόγησης του κάθε μοντέλου από τους φοιτητές

Σχεδιάστε:	Τι ποσοστό των φοιτητών βαθμολόγησαν ως «Αρκετά αποτελεσματικό» ή «Ιδανικό» το εκάστοτε μοντέλο				
	Μοντέλο A	Μοντέλο B	Μοντέλο Γ	Μοντέλο Δ	Μοντέλο E
το πρότυπο του ατόμου	78%	11%	33%	83%	78%
κινήσεις ατόμων καθώς αυξάνει η θερμοκρασία και κατά συνέπεια αυξάνει η κινητική τους ενέργεια	72%	6%	6%	83%	78%
δύο άτομα που σχηματίζουν έναν χημικό δεσμό	39%	6%	22%	78%	83%
το εσωτερικό ενός μετάλλου	56%	6%	6%	83%	83%

Παρατηρήθηκε μια προτίμηση σε ατομικά μοντέλα που τα ηλεκτρόνια παρουσιάζονται σαν σωματίδια και συγκεκριμένα στα μοντέλα Δ και E που η βασική τους διαφορά είναι το αν θα φαίνεται η δομή του πυρήνα ή όχι. Η προτίμηση σε αυτά τα δύο μοντέλα φάνηκε περισσότερο όταν τους ζητήθηκε να περιγράψουν σύνθετα φαινόμενα, ενώ στην απλή αναπαράσταση του ατόμου κατάλληλο κρίθηκε και το μοντέλο A που είναι ουσιαστικά το πρότυπο του Bohr.

Στην πορεία της μελέτης των φύλλων αξιολόγησης που συμπλήρωσαν οι φοιτητές παρατηρήθηκαν επιστημονικά σφάλματα. Ειδικά όταν τους ζητήθηκε να σχεδιάσουν τον χημικό δεσμό μεταξύ δύο ατόμων. Συνηθισμένο σφάλμα ήταν, ειδικά με χρήση του μοντέλου A, το να παρουσιάζονται τα ηλεκτρόνια, που συμμετέχουν στον ομοιοπολικό δεσμό σαν ακίνητα. Σαν ένα ζευγάρι ηλεκτρονίων που τα μοιράζονται τα δύο άτομα. Μια εικόνα που συναντάμε πολύ συχνά στη διδασκαλία της χημείας στο Λύκειο. Κάτι ανάλογο όμως δε φαινόταν να παρουσιάζεται, για τους ίδιους συμμετέχοντες στα στιγμιότυπα που σχεδίασαν για τα υπόλοιπα μοντέλα. Εκεί φαινόταν να υπάρχει μια μεγαλύτερη πυκνότητα στην παρουσία των ηλεκτρονίων ανάμεσα στα δύο άτομα που συμμετείχαν στο δεσμό.

Ανάλογα σφάλματα υπήρχαν και για το σχεδιασμό του εσωτερικού ενός μετάλλου, όπου πολλοί φοιτητές όταν υπήρχε μια διαφορά δυναμικού στο μέταλλο σχεδίαζαν όλα τα ηλεκτρόνια (ατομικά κι ελεύθερα) να κινούνται προσανατολισμένα αφήνοντας τους πυρήνες των ατόμων μόνο στις αρχικές τους θέσεις. Με βάση τις πιο πάνω παρατηρήσεις κι αν αφαιρέσουμε από τον Πίνακα 2 τις αξιολογήσεις των ατόμων που είχαν εσφαλμένα στιγμιότυπα προκύπτει ο Πίνακας 3.

Πίνακας 6: Συγκεντρωτική παρουσίαση της αξιολόγησης του κάθε μοντέλου από τους φοιτητές (που είχαν επιστημονικώς ορθά σχεδιασμένα στιγμιότυπα)

Σχεδιάστε:	Τι ποσοστό των φοιτητών βαθμολόγησαν ως «Αρκετά αποτελεσματικό» ή «Ιδανικό» το εκάστοτε μοντέλο				
	Μοντέλο Α	Μοντέλο Β	Μοντέλο Γ	Μοντέλο Δ	Μοντέλο Ε
το πρότυπο του ατόμου	78%	11%	33%	72%	78%
κινήσεις ατόμων καθώς αυξάνει η θερμοκρασία και κατά συνέπεια αυξάνει η κινητική τους ενέργεια	61%	6%	6%	78%	78%
δύο άτομα που σχηματίζουν έναν χημικό δεσμό	11%	6%	22%	72%	83%
το εσωτερικό ενός μετάλλου	44%	6%	0%	67%	83%

Οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από τον Πίνακα 3 είναι ότι το Μοντέλο Ε χρησιμοποιήθηκε σωστά από όσους το επέλεξαν και για τα τέσσερα ερωτήματα. Ενώ σχεδόν σε όλα τα υπόλοιπα παρατηρήθηκε ότι είχαν ένα ή και περισσότερα εσφαλμένα στιγμιότυπα. Όμοια δεν υπήρχαν σφάλματα και στο Μοντέλο Β, αλλά είχε πολύ μικρή αποδοχή από τους συμμετέχοντες.

Συμπεράσματα– Η Εφαρμογή - Η Αξιολόγηση

Στην εργασία έγινε ένα πρώτο βήμα προκειμένου να υιοθετηθεί ένα εκπαιδευτικό μοντέλο του ατόμου, κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί σαν δομικό στοιχείο σε προσομοιώσεις του μικροκόσμου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3 οι φοιτητές έδειξαν ότι επιλέγουν ατομικά πρότυπα διαφορετικά από αυτό του Bohr, ειδικά για σύνθετα φαινόμενα. Για φαινόμενα δηλαδή που θα είναι και πιο χρήσιμες αυτού του είδους οι προσομοιώσεις από την άποψη ότι σε αυτά θα αντιμετωπίζει μεγαλύτερη πρόκληση ένας εκπαιδευτικός στο έργο του, προκειμένου να τα εξηγήσει στους μαθητές του. Τα ερωτήματα που είχαμε θέσει λοιπόν στην αρχή απαντήθηκαν από τους φοιτητές καταφατικά. Υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο ατομικό πρότυπο που επέλεξαν και που μπορούν να το χρησιμοποιούν επιστημονικώς ορθά.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε από φοιτητές του ΠΤΔΕ του ΕΚΠΑ που είναι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί είναι όμως και ταυτόχρονα φοιτητές που προσπαθούν και οι ίδιοι να καταλάβουν τις βασικές αρχές της Σύγχρονης Φυσικής. Ήδη μέσα από τα μαθήματα της σχολής τους έχουν ξεκινήσει να μπαίνουν στη διαδικασία της προσαρμογής της διδακτέας ύλης στα δικά τους μέτρα σαν δάσκαλοι και στο πως θα την παρουσιάσουν. Προσπαθούν να προσαρμόσουν τα επιστημονικά πρότυπα που διδάσκονται, στα εκπαιδευτικά πρότυπα που θα διδάξουν με τη σειρά τους στη σχολική τάξη. Σε επόμενη εργασία θα αναφερθούμε στη δημιουργία των προσομοιώσεων που παρήχθησαν με βάση αυτό το μοντέλο.

Βιβλιογραφία

Δημόπουλος Βασίλειος (2005) «Εκπαίδευση με τεχνολογίες πληροφόρησης στις φυσικές επιστήμες: προτάσεις και εφαρμογές κβαντικών προσεγγίσεων» Διδακτορική Διατριβή ΠΤΔΕ / ΕΚΠΑ

Νταλαούτη Π., Τσαπαρλής Γ. (2004) «Επιδιώκοντας την αποφυγή προσκόλλησης στο ατομικό μοντέλο του Bohr: Διδασκαλία ενός κβαντομηχανικού μοντέλου του ατόμου στο Δημοτικό Σχολείο», 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση.

Budde M., Niedderer H., Scott P. and Leach J.(2002). The quantic atomic model 'Electronium': a successful teaching tool Physics Education IOP Publishing Ltd

Budde M., Niedderer H., Scott P. and Leach J.(2002). 'Electronium': a quantum atomic teaching model. Physics Education IOP Publishing Ltd

Clement J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. Int. J Sci. Educ. Vol.22 No.9

Dimopoulos V., Kalkanis G., (2005). Simulating quantum states of the atom of hydrogen - A simulation program for non-physics major's students, European Conference on Research in Science Education (ESERA), August 28 – September 1, Barcelona, Spain

Dimopoulos V., Kalkanis G.,(2004). Quantum Physics for all – Using ICT to experiment and simulate quantum Principles. Physics and ICT in Teaching and Learning Process GIREP Ostrava

Harrison Allan G. and Treagust David F. (1996) Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. Science Education

Kalkanis G., Hadzidaki P., Stavroy D., (2002). An Instructional Model for a Radical Conceptual Change Towards Quantum Mechanics Concepts, Science Education.

Mikelskis-Seiferth S., Leisner A.J.(2005). Investigation of effects and stability in teaching model competence. Springer

Petri Juergen and Niedderer Hans, (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. International Journal of Science Education

Warren J (2003) 'Electronium'? No,thanks. Physics Education,

Mikelskis-Seifert, S. (2002). Die Entwicklung von Metakonzepten zur Teilchenvorstellung bei Schólern. Untersuchung eines Unterrichts óber Modelle mithilfe eines Systems multipler Reprósentationsebenen. Logos Verlag Berlin