

The micro-Kosmos prototype for younger students – ICT activities about particulate nature of matter in Primary School.

Despina Imvrioti

*Science, Technology and Environment Laboratory, Pedagogical Department of Primary Education,
National and Capodestrian University of Athens
dimvrioti@sch.gr*

Abstract

It is supported by scientists and researchers of science education that Particulate Nature of Matter (PNM) is a valuable tool for anyone to approach several branches of Science. The introduction of PNM to education seems to be a difficult and longterm issue. However, a great deal of effort is spent worldwide so as the best way of PNM education is reached. In this direction and bearing in mind the difficulties that pupils of 10-12 years old face when approaching the particulate model, we tried to introduce a very simple version of this model to pupils of the fifth class of greek primary school taking into account the learning value of analogies, multiple representation and using the concepts of model and scale that are taught to the same class through other subject-lessons.

The framework – The research questions – The aims

Recently, there has been a great deal of questioning in greek education area about teaching or not particulate nature of matter (PNM). In 1960's Richard P. Feynman (1977) emphasized the importance of PNM in science. During the last decades many educational researchers consider PNM to be a valuable tool for students and seek for the best way of teaching it to students of as younger age as possible. In bibliography it is put forward that it is of great importance for students to comprehend the PNM so as they approach several branches of Science (Bouwma-Gearhart et al. 2009). It is also supported that PNM assists students to treat phenomena about which they lack supervision, as in case of invisible gases (Löfgren & Helldén 2009, Papageorgiou et al. 2010).

Lately, United Kingdom government [DfES. (2002) Framework for teaching science: Years 7, 8 and 9. Key Stage 3 National Strategy, London: Department for Education and Skills] funded the initiative to develop pedagogical strategies and support of National Curriculum. In this framework, concerning science, the curriculum was organised around five key-ideas, one of which is «particles» (Franco & Taber 2009). PNM education takes place at the first three classes of secondary education, at students of 11-14 age groups.

Certainly, the difficulties that students -especially of younger ages- confront at their attempt to comprehend the PNM are taken into serious account. Franco & Taber (2009) studying the results of the implementation of the above mentioned curriculum in United Kingdom, found out that a minority of students are likely to have understood the basic particulate theory at the end of that educational course. As it is stated in another research (Georgousi et al. 2001), particulate model has positive results at efficient students of secondary education. In the same direction, a different research team (Löfgren & Helldén 2009) admits that the didactical aim of PNM in their research was to offer students –those who were willing and found it worthwhile and productive– the opportunity to use particulate model when approaching changes of matter in several circumstances.

The fact is that there is a demand for further research so as we are all aware of the way to support our students as early as possible at their school years to build the particulate model by

the age of 16 and develop the capability to use it in real world (Löfgren & Helldén 2009). Coming to the case of Greece, there are encouraging results about considering PNM an achievable didactical goal for young students (Papageorgiou et al. 2010). More specifically, it is stated that an early version of particulate model that explains natural changes, seems to be suitable for students of primary education even from the age of nine and on (Papageorgiou & Johnson 2005).

Researchers seem to come to an agreement as concerning the development of a simple particulate model early by the students, which will guide them later to a more complicated sub-atomic model (Bouwma-Gearhart et al. 2009). Furthermore, the comprehension of a basic particulate model by the students, appears to be a presupposition for them to approach the structure of the atom that is taught later (Papageorgiou et al. 2010). According to Eshach & Fried (2005) Science of early school years is an effective framework for scientific thought to be evolved and is expected to contribute to the formation of the groundwork on which the comprehension of difficult scientific concepts will be based so as they are approached later on in a more typical manner.

Dealing with phenomena of the Physics curriculum of primary education (10-12 age-group) merely through experiments –which are undoubtedly important– guides students towards describing only “how” a phenomenon happens, but misses unexplained “why” this phenomenon happens. Even from the beginning of the 5th class (10 years old) where concepts like mass and density are taught, students express questions like: «What is the sense of density in the case of a solid rock, since the rock is a whole / compact object and not many small ones like sugar powder?» There appears the need of a mechanism for students, a model / prototype, that explains the phenomena involved in the several experiments (Papageorgiou et al. 2010).

In order to contribute to the research that takes place internationally concerning the best way to introduce particulate model even in primary education, we studied the teaching of a simple particulate model, the micro-Kosmos prototype, taking advantage of analogies of microscopic phenomena with macroscopic ones, as well as of ICT and computer visualizations in order to develop activities for students with particulate model.

Regarding analogies as a didactical tool, we are grounding our research to studies that point them out on the one hand as important mechanisms of concept change and reconstruction of knowledge (Vosniadou & Brewer 1987, Thiele & Treagust 1992) and on the other as means for investigation, description and explanation of scientific and mathematical ideas (Harrison & Treagust 2000). Furthermore, we pay serious attention so as these analogies make sense to the students. More specifically, we use images of animals both natural ones and others from students paintings and organise a discussion within the class, focusing on the similarities and differences of analogies with world of particles. We also asked students to write down their own examples of analogies for the particulate prototype. In the same direction, we use role-play, where students pretend to be particles.

About the second teaching tool of our proposal, computer visualizations, international bibliography support the educational value and the learning advantage that moving images hold in comparison to static ones (Girwidz 2004, Aiello–Nicosia & Sperandeo–Mineo 2000, Korobilis et al. 2003).

Our basic research questions are as following: 1) Up to which extent may the students of 5th class (age of 10-11) approach the concept of PNM? 2) Are analogies proper to contribute to the introduction of particulate prototype? 3) Is the use of educational software a tool that may help students approach PNM?

The aims of the didactical intervention we propose, are: Students a) to describe a simple particulate prototype (size and motion of molecules), b) to describe any object as constructed by particles, c) to relate energy with particles' motion, d) to explain expansion as a

differentiation of the distance between particles. From the above mentioned aims, the first two are mainly the goals of our research. The concept of energy and its role at the particulate prototype as well as the use of that prototype for the explanation of several phenomena are secondary goals, as it is estimated that at this initial introduction of the particulate prototype there shouldn't be paid a lot of attention to many aspects of the prototype, as it is expected to happen later on in an evolutionary course.

The didactical intervention – The methodology

It is admitted that there are two internal basic difficulties regarding the particulate prototype. First, it is a model / prototype and not a real object and second, it is of a scale that students are unable to comprehend through their senses. These are the main reasons that led us to the utilization of other educational subjects during the didactical intervention in order to help students understand as better as possible the concepts of model and scale. To be more specific, we took advantage of Mathematics, where students are taught the technique to model a problem in order to reach its solution more easily. Besides, in Geography students are involved in activities about the scale of a map and the comparison between maps of different scales. Last but not least, Arts offered a hand too, as students made their own pointillisme designs, which seemed to be of compact colors when observed from distance, whilst proved to be of many colored points when viewed at a close glance.

Our didactical intervention at the subject-lesson of Physics consisted of the following three units: 1. The concept of model (1 didactical hour) 2. Analogies of non compact bodies (2 didactical hours) 3. Particulate prototype (4 didactical hours). Later, when the unit of expansion was taught, there was another reference to the particulate prototype and we made an attempt to explain the phenomenon of expansion based on this prototype by the use of ICT for one didactical hour. Before the above mentioned three units, a lesson about the concept of energy took place. The students of the experimental group were working in the ICT lab of their school in teams of three, guided by worksheets. The teacher used a data projector.



Images 1 and 2: The research group in ICT school laboratory

For the needs of the didactical intervention we developed a simple interactive educational software.

During the intervention, students were guided to discover that the objects of macrokosmos consist of particles, which are so small that are invisible, are in continuous motion, never come in contact with each other and when energy is offered to them, they move more quickly. We should point out that in every activity students were prompted to differentiate the senses level from the particles one, as it is stated that a reason why students use to fail in approaching the particulate prototype, is that they are not encouraged to make that distinction (Gabel 1993) and that teachers do not help them to identify the limitations of the macroscopic representation of microscopic phenomena and particles (Bouwma-Gearhart et al 2009).

Analogies with substances that move perpetually and give the impression of a compact object, like swarms of birds or shoals of fish, were chosen because a basic alternative idea that students hold is that particles are placed inside the bodies. However, due to the difficulty in

the world of senses to find swarms in vacuum (without water or air), we have second thoughts about the students' ability to overcome another alternative idea of theirs: that there is air among the particles. There is a possibility that the use of black background at the visualisation of particles on the computer screen may help students to cope with the above alternative idea, whilst the use of white color may give them the impression of a substance within which the particles are moving. Furthermore, there was an activity at the worksheets that asked students to focus on the black background and express their hypotheses about the reason why this color was chosen. The activity was followed by discussion in the classroom, during which it was highlighted that there is nothing else between the particles but vacuum.

As multiple representations are accepted to improve the ability of students to represent the particles (Myers 1990, Mayer 2001, 2003), we used visualisations on the computer screen, students' paintings on paper as well as theatrical role play as multiple representations of the microkosmos prototype / model.

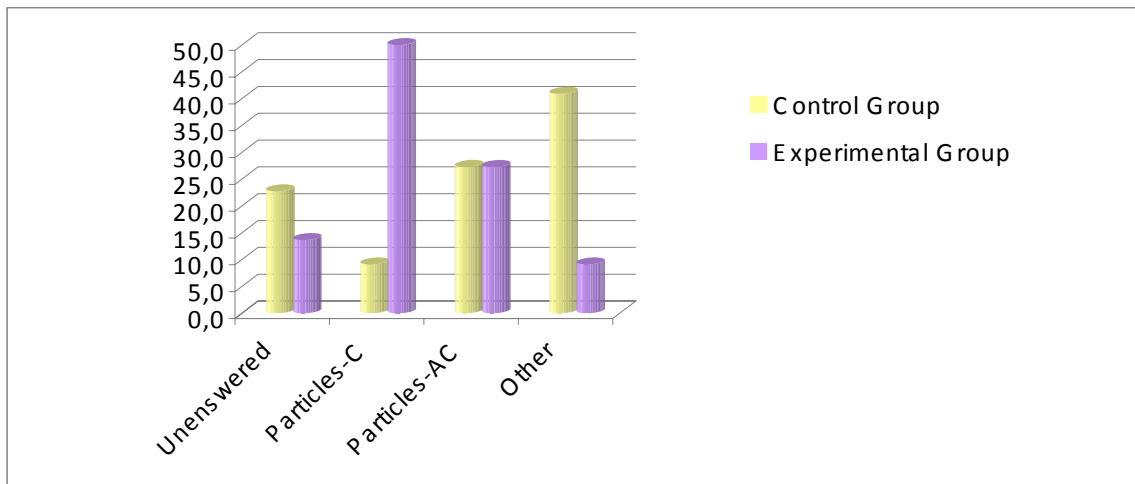
The research – The implementation – The evaluation

The research sample consisted of 45 students of the 5th class (age 10-11) of the 1st Primary School of Nea Moudania of Chalkidiki. 23 of them belonged to the control group and were taught about the particulate prototype by the use of static images from their school book for 2 didactical hours in their conventional classroom. The rest of the students who formed the experimental group, were first taught about energy in Physics subject-lesson, as well as about modeling problems in Mathematics, about map scale in Geography and pointillisme in Arts. After the above, three units about the particulate prototype followed. These units were divided in a series of 7 lessons of 45 minutes each. Last, the unit of heat and temperature was taught and after the end of the worksheet of the Student's Workbook about expansion of solid objects, an effort to explain the related phenomena by the particulate prototype was made.

To collect data we used written questionnaires in both experimental and control groups before the didactical intervention. The most important questions were about the definition of "molecule" and the design of objects in microkosmos scale: "What do you think is a molecule?", "Design some molecules as you believe they look like". Following the questionnaires, some interviews took place so as we could better define answers of the students. After the intervention, written tests were given to the groups again. We decided to ask students to design particles based on the proposal of Van Meter and Garner (2005) who support that during this activity students are helped to develop their ability of observation the same as in activities of discussion or written description. The paintings and drawings of students are considered to be a valuable tool for the approach and visual representation of scientific concepts.

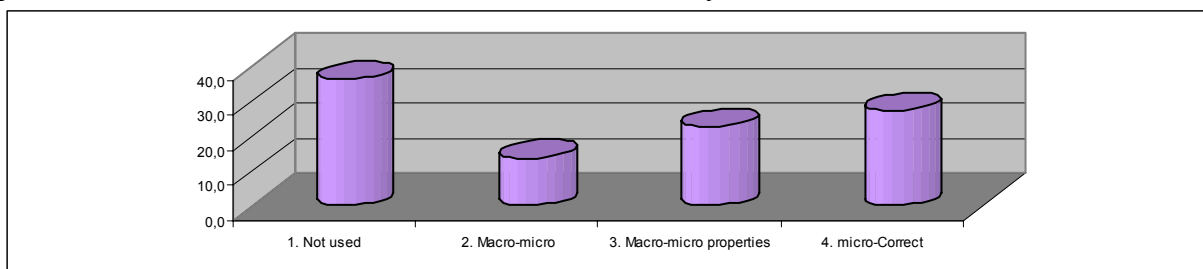
The data processing showed that 63% of the total sample of students (control and experimental group) have heard about the word "molecule" before the didactical intervention. The interview revealed that the students have heard about molecules on the TV, from their parents, from older sisters and brothers. When they were asked to describe what a molecule is, more than 60% of them could not answer, while merely 13,6% of them answered that it is a sort of a particle.

After the didactical intervention the students when asked "what do you think a molecule is" answered as at the graphic below, where "Particles-C" stands for the correct answers in particulate level, "Particles-AC" represents the almost correct answers of the same level and "Other" indicates those answers that instead of the word "particle" they contained others like "organism", "tiny thing" etc.:



At the designing questions, before the intervention almost 50% of the students made no designs. Almost 30%, however, designed particulate models that were almost correct from a scientific point of view. Based on the interview data we note that students have observed such designs in books or TV documentaries or advertisements. They are not sure, though, what the symbols they used at their drawings were exactly. After the didactical intervention, the unanswered questions reduced to 10% at the total sample, while at the experimental group the higher percent was that of the correct designs (52,6%). At the control group the higher percentage (47,6 %) was the one of the designs where there was a mix of macroscopic and microscopic level.

Regarding the concept of expansion and bearing in mind that students were free to use or not the microkosmos prototype, we categorised the data of our research according to Johnson (1998a) as following: 1. The particle prototype was not used by the students (Not used), 2. Particles are mentioned but as they were stuffed in the materials (Macro-micro), 3. Students accept that the particles compose the material, but they attribute macroscopic properties to them (Macro-micro properties), 4. Particles with microscopic properties compose the material and are responsible for its macroscopic characteristics (micro-Correct). We ought to define that in the first category we included answers where there was either no reference to the particulate prototype or it was used in a wrong way. Before the didactical intervention, no students of the experimental group used the microkosmos prototype to explain the expansion phenomenon. Afterwards, their answers were as we may see below:



The Conclusions – Suggestions

It is important to know that students aged 10-11 years have already heard about the particulate prototype and have formed alternative ideas about it before entering the 5th class of primary school. This fact justifies the effort made to introduce the microkosmos prototype in Physics course of this level.

According to our research goals and data analysis, it seems that students of the experimental group are able to describe a simple particulate prototype in a rather satisfactory way (50%), and that a good amount of students mention that all the bodies/objects of macroscopic level consist of particles. The differences between the answers given by the control and the ones by the experimental group, drive us to the conclusion that analogies and educational software used in combination with spending more didactical time to the microkosmos prototype, contributes to an important extent to this initial approach of the prototype.

Yet, the idea students hold about the existence of “something” between the particles (like air), was not eliminated for some of the experimental group students, as we had estimated at the beginning. Furthermore, even though at the expansion unit the explanation of the phenomenon by the particulate prototype was taught, few of the students (22,7 %) managed to use the prototype in a scientifically correct way.

Of course, we admit that this initial introduction of the microkosmos prototype will generate alternative ideas recorded by other researches as well. However, these ideas are about to be confronted when the prototype will be taught again at the secondary education level. There are already a lot of researches that indicate on the one hand why teaching PNM is a tempting issue and on the other what are the points where students fail. The attempt to introduce particle concepts as early as possible in the educational process, and from then on the repeated studying of them in several phenomena, appears to be successful eventually as regarding the use of the particulate prototype by the students in a correct way. However, there still has to be paid attention at the alternative ideas this prototype generates (Franco & Taber 2009). But the process towards the scientific comprehension of the microkosmos prototype will be slower, when we leave it for later educational levels and when we do not emphasize to the use of it in the explanation of several phenomena. We believe that our proposal to introduce the particle prototype at the 5th class of primary school using analogies and computer activities, contributes to a successful initial approach of PNM dealing at the same time with some of the most important alternative ideas students hold about the issue.

Bibliography

Adadan, E., Irving, K.E., Trundle, K.C. (2009). Impacts of Multi-representational Instruction on High School Students' Conceptual Understandings of the Particulate Nature of Matter. *International Journal of Science Education*, 31[13], 1743–1775.

Aiello–Nicosia, M.L. & Sperandeo–Mineo, R.M., (2000). “Educational reconstruction of physics content to be taught and of pre-service teacher training: a case study”, *International Journal of Science Education* 22(10), pp. 1085-1097.

Bouwma-Gearhart, J., Stewart, J., Brown, K. (2009). Student Misapplication of a Gas-like Model to Explain Particle Movement in Heated Solids: Implications for curriculum and instruction towards students' creation and revision of accurate explanatory models. *International Journal of Science Education*, 31[9], 1157–1174.

Eshach, H. & Fried, M. (2005). Should science be taught in early childhood?. *Journal of Science Education and Technology*, 14[3], 315–336.

Feynman, R., Leighton R. & Sands, M. (1977). *The Feynman Lectures on Physics* (6th reprint), Reading MA: Addison-Wesley.

Francoa, A.G. & Taberb, K.S. (2009). Secondary Students' Thinking about Familiar Phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organising teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31[14], 1917–1952.

Gabel, D. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70[3], 193–194.

- Georgousi, K., Kampourakis, C., Tsapalis, G. (2001). Physical-science knowledge and patterns of achievement at the primary-secondary interface, Part 2: Able and top-achieving students. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2[3], 253–263.
- Girwidz, R. (2004). “Illustrations and Animated Visual Presentations”, paper read to the International Conference of Groupe International de Recherche sur l’ Enseignement de la Physique, July, Ostrava, Czech Republic.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). “A typology of school science models”, *International Journal of Science Education* 22(9), pp. 1011-1026.
- Johnson, P. M. (1998a). Progression in children’s understanding of a ‘basic’ particle theory: A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393–412.
- Kallery, M., Psillos, D., Tselfes, V. (2009). Typical Didactical Activities in the Greek Early-Years Science Classroom: Do they promote science learning?. *International Journal of Science Education*, 31 [9], 1187–1204.
- Korobilis, K., Hatzikraniotis, E. & Psillos, D. (2003). "A study on science teachers’ use of design features of a simulated visual laboratory to develop active involvement of students in the teaching of thermodynamics at senior high school", in Constantinou, C.P. & Zacharias, Z.C. (eds), *Proceedings of conference on Computer based learning in Science*, Nicosia: Department of Educational Sciences.
- Löfgrena, L. & Helldéna, G. (2009). A Longitudinal Study Showing how Students use a Molecule Concept when Explaining Everyday Situations. *International Journal of Science Education*, 31[12], 1631–1655.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13, 125–139.
- Myers, G. (1990). Every picture tells a story: Illustrations in E.O. Wilson’s sociobiology. In M.Lynch & S. Woolgar (Eds.), *Representation in scientific practice* (pp. 231–266.). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Papageorgiou, G., Grammaticopoulou, M., Johnson, P.M. (2010). Should we Teach Primary Pupils about Chemical Change?. *International Journal of Science Education*, 32[12], 1647–1664.
- Papageorgiou, G., & Johnson, P. M. (2005). Do particle ideas help or hinder pupils’ understanding of phenomena?. *International Journal of Science Education*, 27[11], 1299–1317.
- Thiele R. & Treagust D. (1992). Analogies in senior high school chemistry text-books: A critical analysis, in H. J. Schmidt (Ed.), *Empirical Research Chemistry and Physics Education*, 175-192, Hong Kong: ICASE.
- Vosniadou S. & Brewer W. (1987). Theories of knowledge restructuring in development, *Review of Educational Research*, 57(1), 51-67.

«Ο μικρόΚοσμος στον κόσμο των μικρών» - Δραστηριότητες με ΤΠΕ για τη σωματιδιακή δομή της ύλης στην Ε' Δημοτικού.

Δέσποινα Ιμβριώτη

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Π.Τ.Δ.Ε., Ε.Κ.Π.Α.
dimvrioti@sch.gr

Περίληψη

Στη βιβλιογραφία υποστηρίζεται ότι η σωματιδιακή δομή της ύλης (πρότυπο του μικρόΚοσμου) είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση πολλών σύγχρονων τομέων των Φυσικών Επιστημών. Η εισαγωγή της στην εκπαίδευση παρουσιάζει δυσκολίες και απαιτεί μακροχρόνια διαπραγμάτευση από τους μαθητές. Ωστόσο, παρατηρείται συνεχής προσπάθεια σε διεθνές επίπεδο να καταγραφούν οι βέλτιστοι τρόποι εκπαιδευτικής προσέγγισης του σωματιδιακού προτύπου. Στην κατεύθυνση αυτή και χωρίς να παραγνωρίζουμε τις δυσκολίες που ενέχει η προσέγγιση του προτύπου του μικρόΚοσμου από παιδιά ηλικίας 10-12 ετών, δοκιμάσαμε με μια σειρά αλληλεπιδραστικών δραστηριοτήτων στον υπολογιστή να εισάγουμε πολύ απλές έννοιες του μικρόΚοσμου σε μαθητές της Ε' Δημοτικού αξιοποιώντας την εκπαιδευτική αξία των αναλογιών, των πολλαπλών αναπαραστάσεων και των εννοιών του μοντέλου και της κλίμακας, που εισάγονται από άλλα γνωστικά αντικείμενα της συγκεκριμένης τάξης.

Abstract

It is supported by scientists and researchers of science education that Particulate Nature of Matter (PNM) is a valuable tool for anyone to approach several branches of Science. The introduction of PNM to education seems to be a difficult and longterm issue. However, a great deal of effort is spent worldwide so as the best way of PNM education is reached. In this direction and bearing in mind the difficulties that pupils of 10-12 years old face when approaching the particulate model, we tried to introduce a very simple version of this model to pupils of the fifth class of greek primary school taking into account the learning value of analogies, multiple representation and using the concepts of model and scale that are taught to the same class through other subject-lessons.

Το Πλαίσιο – Τα Ερωτήματα – Οι Στόχοι

Πρόσφατα έχει παρατηρηθεί στον ελληνικό εκπαιδευτικό χώρο προβληματισμός σχετικά με τη διδασκαλία ή όχι του εκπαιδευτικού προτύπου του μικροΚόσμου, ή όπως καταγράφεται στη διεθνή βιβλιογραφία, της σωματιδιακής δομής της ύλης (particulate nature of matter). Ήδη από τη δεκαετία του 1960, ο νομπελίστας Φυσικός Richard P. Feynman (1977) εξαιρεί τη σημασία του σωματιδιακού μοντέλου για την επιστήμη. Τις τελευταίες δεκαετίες στο χώρο της εκπαιδευτικής έρευνας, είναι πολλοί αυτοί που χαρακτηρίζουν το σωματιδιακό πρότυπο ένα πολύτιμο εργαλείο για τους μαθητές και αναζητούν το βέλτιστο τρόπο διδασκαλίας του στους μαθητές από όλο και μικρότερη ηλικία. Στη βιβλιογραφία διατυπώνεται η θέση ότι η κατανόηση της σωματιδιακής δομής της ύλης είναι εξέχουσας σημασίας για τους μαθητές προκειμένου να προσεγγίσουν όλους τους τομείς των Φυσικών Επιστημών (Bouwma-Gearhart et al. 2009). Υποστηρίζεται μάλιστα ότι το σωματιδιακό μοντέλο βοηθά τους μαθητές να προσεγγίσουν φαινόμενα για τα οποία δεν έχουν εποπτεία όπως αυτά που σχετίζονται με τα αόρατα αέρια (Löfgren & Helldén 2009, Papageorgiou et al. 2010).

Πρόσφατα στο Ηνωμένο Βασίλειο η κυβέρνηση (DfES. (2002) Framework for teaching science: Years 7, 8 and 9. Key Stage 3 National Strategy, London: Department for Education and Skills) χρηματοδότησε την πρωτοβουλία ανάπτυξης παιδαγωγικών στρατηγικών και υποστήριξης του Εθνικού Αναλυτικού Προγράμματος. Σε αυτό το πλαίσιο όσον αφορά στις

Φυσικές Επιστήμες, το αναλυτικό πρόγραμμα οργανώθηκε γύρω από πέντε ιδέες-κλειδιά, μία εκ των οποίων είναι και τα «σωματίδια» (Franco & Taber 2009). Έτσι, η διδασκαλία της σωματιδιακής δομής της ύλης πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια τριών τάξεων από την αρχή της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, σε μαθητές ηλικίας 11 έως 14 ετών.

Βέβαια, δεν παραγνωρίζονται οι δυσκολίες που ενέχει το σωματιδιακό πρότυπο για την αντίληψή του από τους μαθητές, ιδιαίτερα των μικρών τάξεων ακόμα και της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Οι Franco & Taber (2009) που μελέτησαν τα αποτελέσματα της εφαρμογής του προαναφερθέντος αναλυτικού προγράμματος του Ηνωμένου Βασιλείου, διαπίστωσαν ερευνητικά ότι η μειοψηφία των μαθητών είναι πιθανό να έχουν κατανοήσει τη βασική σωματιδιακή θεωρία στο τέλος της παραπάνω εκπαιδευτικής πορείας. Όπως καταγράφεται και σε άλλη έρευνα (Georgousi et al. 2001), το σωματιδιακό μοντέλο έχει καλά αποτελέσματα στους πιο ικανούς μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Στην ίδια λογική και άλλη ερευνητική ομάδα (Löfgren & Helldén 2009) παραδέχεται ότι ο σκοπός της διδασκαλίας της σωματιδιακής φύσης της ύλης στην έρευνά τους ήταν να προσφερθεί η δυνατότητα σε όσους μαθητές το επιθυμούν και το θεωρούν γόνιμο και παραγωγικό, να χρησιμοποιούν το μοριακό μοντέλο όταν προσεγγίζουν μεταβολές της ύλης σε διάφορες περιστάσεις.

Ωστόσο καταγράφεται η απαίτηση για περισσότερη έρευνα προκειμένου να γνωρίζουμε πώς να υποστηρίξουμε τους μαθητές από νωρίς στα σχολικά τους χρόνια ώστε στην ηλικία των 16 ετών να έχουν δομήσει το σωματιδιακό μοντέλο και να αναπτύξουν την ικανότητα να το χρησιμοποιούν σε πραγματικές καταστάσεις (Löfgren & Helldén 2009). Και στον ελληνικό χώρο προκύπτουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα και υποστηρίζεται ερευνητικά ότι η σωματιδιακή ιδέα δεν είναι ακατόρθωτο επίτευγμα για τους νεαρούς μαθητές (Parageorgiou et al. 2010). Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι μια πρώτη έκδοση του σωματιδιακού μοντέλου που ερμηνεύει φυσικές μεταβολές φαίνεται να είναι κατάλληλη για μαθητές στο επίπεδο της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης και μάλιστα από την ηλικία των εννέα ετών και μετά (Parageorgiou & Johnson 2005).

Φαίνεται να διαμορφώνεται μια συμφωνία των ερευνητών του χώρου στην ανάπτυξη από νωρίς στους μαθητές ενός απλού σωματιδιακού μοντέλου, το οποίο αργότερα στην εκπαίδευσή τους θα τους οδηγήσει στην κατανόηση ενός περισσότερο πολύπλοκου υποατομικού σωματιδιακού μοντέλου (Bouwma-Gearhart et al. 2009). Μάλιστα, η κατανόηση ενός βασικού σωματιδιακού προτύπου από τους μαθητές, αποτελεί προϋπόθεση για την προσέγγιση της δομής του ατόμου που διδάσκεται αργότερα (Parageorgiou et al. 2010). Κατά τους Eshach & Fried (2005) οι Φυσικές Επιστήμες των μικρών σχολικών τάξεων είναι ένα αποτελεσματικό πλαίσιο για την ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης και αναμένεται να συνεισφέρει στη διαμόρφωση των θεμελίων που θα οδηγήσουν στην κατανόηση δύσκολων επιστημονικών εννοιών και φαινομένων που θα μελετηθούν αργότερα σε μια πιο τυπική μορφή.

Η προσέγγιση των φαινομένων που περιλαμβάνονται στο αναλυτικό πρόγραμμα των Φυσικών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης (Ε' και Στ' τάξη) αποκλειστικά και μόνο με την εκτέλεση πειραμάτων, χωρίς φυσικά να παραγνωρίζεται η αξία τους, οδηγεί τους μαθητές στην προσέγγιση και περιγραφή του «πώς» συμβαίνει ένα φαινόμενο, αλλά αφήνει αναπάντητο το «γιατί» συμβαίνει το φαινόμενο. Από τις πρώτες μάλιστα ενότητες της Ε' Δημοτικού όταν οι μαθητές διδάσκονται για τις έννοιες της μάζας και της πυκνότητας, δημιουργούνται απορίες όπως: «Πώς μπορώ να μιλώ για την πυκνότητα μιας πέτρας αφού η πέτρα είναι ένα πράγμα και όχι πολλά μικρά όπως η ζάχαρη;» (ερώτηση μαθήτριας Ε' Δημοτικού). Οι μαθητές δείχνουν να χρειάζονται ένα μηχανισμό, ένα πρότυπο, που να ερμηνεύει τα φαινόμενα που παρατηρούν στα πειράματα (Parageorgiou et al. 2010).

Συμβάλλοντας στην έρευνα που πραγματοποιείται σε διεθνές επίπεδο σχετικά με το βέλτιστο τρόπο εισαγωγής του σωματιδιακού μοντέλου ήδη από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση,

μελετήσαμε τη διδασκαλία ενός απλού προτύπου του μικροκόσμου χρησιμοποιώντας τις αναλογίες με φαινόμενα από τον κόσμο των αισθήσεων, το μακρόκοσμο, και αξιοποιώντας τις νέες τεχνολογίες στο πλαίσιο της δυνατότητας που προσφέρουν να οργανώσουμε δραστηριότητες για τους μαθητές με μοντέλα σωματιδίων στο μικρόκοσμο.

Αναφορικά με τις αναλογίες ως μαθησιακό εργαλείο, στηρίζομαστε σε ερευνητές του χώρου οι οποίοι εδώ και δεκαετίες τις θεωρούν ως αποφασιστικούς μηχανισμούς εννοιολογικής αλλαγής και αναδιοργάνωσης της γνώσης (Vosniadou & Brewer 1987, Thiele & Treagust 1992) αλλά ως μέσα για την εξερεύνηση, περιγραφή και ερμηνεία επιστημονικών και μαθηματικών ιδεών (Harrison & Treagust 2000). Δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή μάλιστα, ώστε αυτές οι αναλογίες να έχουν νόημα για τους μαθητές. Αναλυτικότερα, χρησιμοποιούμε εικόνες με ζώα από τη φύση αλλά και έργα ζωγραφικής των ίδιων των μαθητών και διεξάγουμε συζήτηση στην τάξη, εστιάζοντας στις ομοιότητες και διαφορές των αναλογιών από τον κόσμο των σωματιδίων. Τέλος, ζητάμε από τους μαθητές να καταγράψουν και οι ίδιοι δικά τους παραδείγματα αναλογιών με το σωματιδιακό πρότυπο. Στο ίδιο πλαίσιο των αναλογιών αξιοποιούμε και το βιωματικό παιχνίδι, όπου οι μαθητές σε ρόλους σωματιδίων παρουσιάζουν μέσα στην αίθουσα διδασκαλίας μια αναλογία του σωματιδιακού προτύπου.

Ως προς το δεύτερο διδακτικό εργαλείο της παρέμβασής μας, τις οπτικοποιήσεις, στη διεθνή βιβλιογραφία υποστηρίζεται η εκπαιδευτική αξία και η μαθησιακή υπεροχή των κινούμενων εικόνων συγκρινόμενων με τις στατικές (Girwidz 2004, Aiello–Nicosia & Sperandeo–Mineo 2000, Korobilis et al. 2003).

Διατυπώνουμε στη συνέχεια τα βασικά ερευνητικά μας ερωτήματα: 1) Σε ποιο βαθμό μπορούν να προσεγγίσουν οι μαθητές της Ε' Δημοτικού την έννοια της σωματιδιακής δομής της ύλης; 2) Μπορούν οι αναλογίες να συνεισφέρουν στην εισαγωγή του σωματιδιακού προτύπου; 3) Μπορεί η χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού να τους βοηθήσει σε αυτό;

Οι στόχοι της διδακτικής παρέμβασης είναι: α) Οι μαθητές να περιγράφουν ένα απλό σωματιδιακό πρότυπο (μέγεθος και κίνηση μορίων), β) Να περιγράφουν όλα τα σώματα ως αποτελούμενα από σωματίδια, γ) Να συνδέουν την ενέργεια με την κινητικότητα των σωματιδίων, δ) Να ερμηνεύουν τη διαστολή ως μεταβολή των αποστάσεων μεταξύ των σωματιδίων. Από αυτούς, στόχοι της ερευνητικής μας προσπάθειας αποτελούν κυρίως οι δύο πρώτοι. Η έννοια της ενέργειας και ο ρόλος της στο σωματιδιακό πρότυπο καθώς και η χρήση του προτύπου αυτού για την ερμηνεία φαινομένων αποτελούν δευτερεύοντες ερευνητικούς στόχους, καθώς εκτιμάται ότι σε αυτή την πρώτη εισαγωγή του σωματιδιακού προτύπου δεν πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα, όπως θα πρέπει να συμβεί σε επόμενη διδακτική παρέμβαση στο πλαίσιο της εξελικτικής δόμησης του σωματιδιακού προτύπου.

Η Διδακτική Παρέμβαση – Η Μεθοδολογία

Το σωματιδιακό πρότυπο ενέχει δύο βασικές δυσκολίες. Πρώτον, είναι ένα μοντέλο / πρότυπο και όχι πραγματικό αντικείμενο και κατά δεύτερον λειτουργεί σε κλίμακα που οι μαθητές αδυνατούν να αντιληφθούν με τις αισθήσεις τους. Για το λόγο αυτό προσπαθήσαμε κατά το χρόνο της διδακτικής μας παρέμβασης να αξιοποιήσουμε και άλλα διδακτικά αντικείμενα για να αντιληφθούν οι μαθητές καλύτερα την έννοια του μοντέλου και της κλίμακας. Ως τέτοια αντικείμενα χρησιμοποιήσαμε τα Μαθηματικά, όπου τα παιδιά διδάσκονται πώς να μοντελοποιούν ένα πρόβλημα για να φθάσουν ευκολότερα στην επίλυσή του. Επίσης στη Γεωγραφία κατά την αρχή των μαθημάτων στην Ε' Δημοτικού οι μαθητές διδάσκονται την κλίμακα του χάρτη και λαμβάνουν μέρος σε δραστηριότητες σύγκρισης των λεπτομερειών που αποτυπώνονται σε χάρτες με διαφορετικές κλίμακες. Τέλος, αξιοποιήθηκε το γνωστικό αντικείμενο της Αισθητικής Αγωγής, όπου με δραστηριότητες πουαντιγισμού, οι μαθητές δημιούργησαν σχέδια τα οποία από κάποια απόσταση φαίνονταν χρωματισμένα με

συμπαγή χρώματα, ενώ σε μικρότερη απόσταση γινόταν εμφανής η χρήση πολλών χρωματιστών κουκίδων.

Κατά τη διδακτική μας παρέμβαση, στο μάθημα των Φυσικών διδάχθηκαν οι εξής τρεις ενότητες: 1. Η έννοια του μοντέλου (1 διδακτική ώρα) 2. Αναλογίες μη συμπαγών σωμάτων (2 διδακτικές ώρες) 3. Σωματιδιακό πρότυπο (4 διδακτικές ώρες). Αργότερα όταν διδάχθηκε η ενότητα της διαστολής των σωμάτων, έγινε και πάλι αναφορά στο σωματιδιακό πρότυπο και επιχειρήθηκε η ερμηνεία του φαινομένου με την αξιοποίηση αυτού του προτύπου κατά τη διάρκεια μίας διδακτικής ώρας με τη χρήση υπολογιστή. Πριν την έναρξη των παραπάνω ενοτήτων πραγματοποιήθηκε η διδασκαλία της ενότητας της Ενέργειας από το σχολικό εγχειρίδιο. Οι μαθητές της ομάδας πειραματισμού κατά τη διάρκεια της παρέμβασης βρίσκονταν στο Εργαστήριο Κοινωνίας της Πληροφορίας του σχολείου και εργάζονταν σε ομάδες των τριών σε οκτώ ηλεκτρονικούς υπολογιστές με την καθοδήγηση φύλλων εργασίας. Υπήρχε επίσης ένας data projector για τον εκπαιδευτικό.



Εικόνες 1 και 2: Η ομάδα πειραματισμού στο Εργαστήριο Κοινωνίας της Πληροφορίας

Για τις ανάγκες της παρέμβασης δημιουργήθηκε και χρησιμοποιήθηκε απλό εκπαιδευτικό λογισμικό αλληλεπιδραστικού τύπου.

Κατά την παρέμβαση οι μαθητές οδηγήθηκαν στην ανακάλυψη ότι τα αντικείμενα του μακρόκοσμου αποτελούνται από σωματίδια, τα οποία είναι τόσο μικρά που δεν μπορούμε να τα δούμε, βρίσκονται σε διαρκή κίνηση, δεν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και όταν τους προσφέρεται ενέργεια, κινούνται περισσότερο.

Τονίζεται ότι οι μαθητές καλούνταν σε κάθε δραστηριότητα στον υπολογιστή ή στη συζήτηση να κάνουν τη διάκριση μεταξύ του αισθητού και του σωματιδιακού επιπέδου, καθώς υποστηρίζεται ότι ένας λόγος για τον οποίο οι μαθητές αποτυγχάνουν στην προσέγγιση του σωματιδιακού προτύπου, είναι ότι δεν ενθαρρύνονται να διακρίνουν μεταξύ αυτών των δύο επιπέδων (Gabel 1993) και ότι ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να βοηθά τους μαθητές να αναγνωρίζουν τους περιορισμούς που θέτει η μακροσκοπική αναπαράσταση των σωματιδίων και φαινομένων (Bouwma-Gearhart et al 2009).

Οι αναλογίες με οντότητες που κινούνται συνεχώς και δίνουν την εντύπωση συμπαγούς σώματος, όπως τα σμήνη πτηνών ή ψαριών, επιλέχθηκαν καθώς μια βασική εναλλακτική άποψη που έχουν οι μαθητές είναι ότι τα σωματίδια βρίσκονται τοποθετημένα μέσα στα σώματα. Ωστόσο, καθώς στον κόσμο των αισθήσεων δεν είναι εύκολο να εντοπισθούν κινούμενα σμήνη στο κενό (απουσία αέρα ή νερού), διατυπώνουμε την επιφύλαξή μας ότι οι μαθητές δεν θα ξεπεράσουν με τον προτεινόμενο τρόπο μια δεύτερη εναλλακτική άποψη που έχουν, ότι δηλαδή ανάμεσα στα σωματίδια υπάρχει αέρας. Πιθανόν να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτής της άποψης των μαθητών η χρήση μαύρου φόντου στις οπτικοποιήσεις των σωματιδίων στον υπολογιστή, αντί λευκού φόντου που παραπέμπει στην παρουσία κάποιας ουσίας. Επιπλέον στα φύλλα εργασίας υπήρχε ερώτηση που κατεύθυνε τους μαθητές να παρατηρήσουν το μαύρο χρώμα και να διατυπώσουν τις υποθέσεις τους σχετικά με το λόγο για τον οποίο επιλέχθηκε αυτό το χρώμα. Ακολούθησε συζήτηση στην τάξη όπου τονίστηκε στους μαθητές ότι μεταξύ των σωματιδίων δεν υπάρχει κάποια ουσία παρά μόνο κενό.

Καθώς οι πολλαπλές αναπαραστάσεις υποστηρίζεται ότι βελτιώνουν την ικανότητα των μαθητών να οπτικοποιούν τα σωματίδια (Myers 1990, Mayer 2001, 2003), αξιοποιήσαμε τις οπτικοποιήσεις στον υπολογιστή, τις ζωγραφιές σε χαρτί από τους μαθητές και τη δραματοποίηση στο μάθημα της Θεατρικής Αγωγής ως διαφορετικές / πολλαπλές αναπαραστάσεις του προτύπου του μικρόΚοσμου.

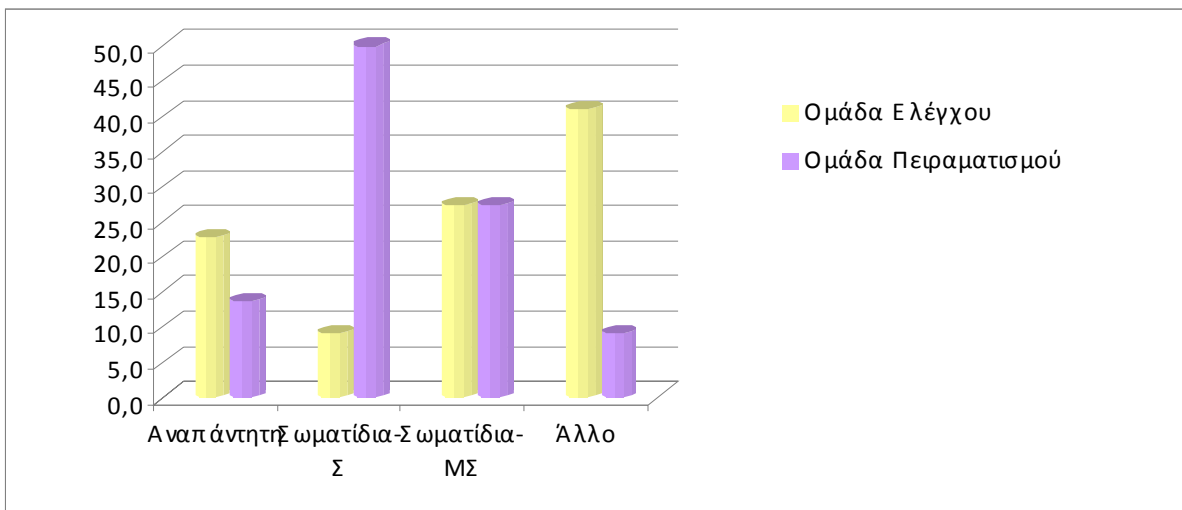
Η Έρευνα – Η Εφαρμογή – Η Αξιολόγηση

Το δείγμα της έρευνάς μας αποτέλεσαν 45 μαθητές και μαθήτριες Ε' τάξης του 1^{ου} Δημοτικού Σχολείου Νέων Μουδανιών Χαλκιδικής. Η ομάδα ελέγχου περιλάμβανε 23 παιδιά τα οποία διδάχθηκαν το σωματιδιακό πρότυπο με τη βοήθεια των στατικών εικόνων του Βιβλίου για το Μαθητή «Ερευνώ και Ανακαλύπτω» για δύο διδακτικές ώρες στην αίθουσα διδασκαλίας. Οι μαθητές της ομάδας πειραματισμού πρώτα διδάχθηκαν την ενότητα της Ενέργειας στο πλαίσιο του μαθήματος των Φυσικών, καθώς και τις ενότητες της μοντελοποίησης προβλημάτων στα Μαθηματικά, της κλίμακας του χάρτη στη Γεωγραφία και του πουαντιγισμού στην Αισθητική Αγωγή. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διδασκαλία των τριών ενοτήτων με θέμα το σωματιδιακό πρότυπο σε μια σειρά επτά μαθημάτων διάρκειας 45 λεπτών το καθένα. Ακολούθησε η διδασκαλία του κεφαλαίου της Θερμότητας και Θερμοκρασίας, όπου μετά το τέλος του Φύλλου Εργασίας από το Τετράδιο Εργασιών για τη διαστολή των στερεών σωμάτων, αξιοποιήθηκε το σωματιδιακό πρότυπο για την ερμηνεία των σχετικών φαινομένων.

Ως όργανο συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν γραπτά ερωτηματολόγια και στις δύο ομάδες (πειραματισμού και ελέγχου) πριν τη διδακτική παρέμβαση. Οι κυριότερες ερωτήσεις που περιλαμβάνονταν αναφέρονταν στον ορισμό του «μόριου» και στη σχεδίαση σωμάτων στην κλίμακα του μικρόκοσμου: «Τι νομίζεις ότι είναι ένα μόριο;», «Σχεδίασε μερικά μόρια όπως νομίζεις ότι αυτά μοιάζουν». Μετά τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις για τη διευκρίνιση κάποιων από τις απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές. Μετά από την παρέμβαση δόθηκαν και πάλι γραπτά ερωτηματολόγια. Η επιλογή της σχεδίασης σωματιδίων στηρίχθηκε στην πρόταση των Van Meter και Garner (2005) οι οποίοι ισχυρίζονται ότι όταν ζητούμε από τους μαθητές να σχεδιάσουν τα σωματίδια, τους βοηθούμε να αναπτύξουν τη δεξιότητα της παρατήρησης εξίσου όπως όταν κάνουμε διαλόγους μαζί τους και όταν τους ζητάμε να τα περιγράψουν γραπτά. Τα σχέδια και οι ζωγραφιές των μαθητών θεωρούνται ένα αξιόλογο εργαλείο για την προσέγγιση και οπτική αποκωδικοποίηση επιστημονικών εννοιών.

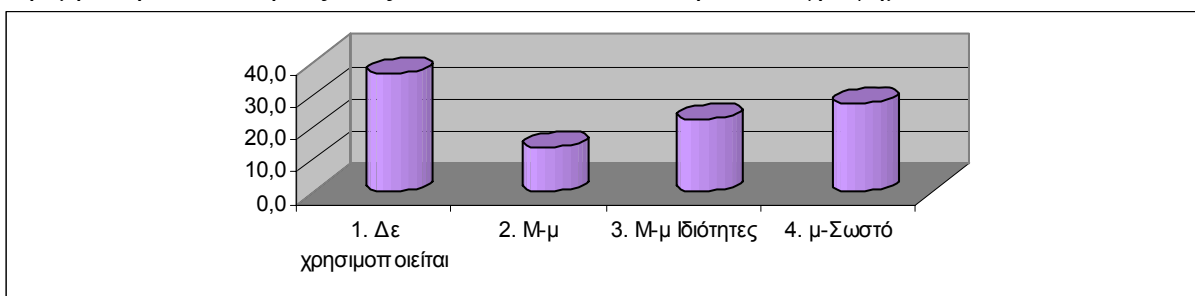
Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων φάνηκε ότι οι μαθητές έχουν ακούσει τη λέξη «μόριο» και πριν τη διδακτική παρέμβαση σε ποσοστό 63% στο σύνολο του δείγματος (ομάδα ελέγχου και ομάδα πειραματισμού). Από τη συνέντευξη φάνηκε ότι έχουν ακούσει για τα μόρια από εκπομπές της τηλεόρασης, από τους γονείς ή από μεγαλύτερα αδέρφια τους. Όταν τους ζητήθηκε να περιγράψουν τι είναι ένα μόριο, πάνω από το 60% δεν απάντησαν, ενώ μόνο ένα ποσοστό 13,6% έγραψαν ότι πρόκειται για κάποιο σωματίδιο.

Μετά τη διδακτική παρέμβαση στην ερώτηση «τι νομίζετε ότι είναι ένα μόριο» οι απαντήσεις των μαθητών στις δύο ομάδες κυμάνθηκαν όπως αποτυπώνεται στο παρακάτω γράφημα, όπου με «Σωματίδια-Σ» χαρακτηρίζονται οι ορθές απαντήσεις σωματιδιακού τύπου, με «Σωματίδια-ΜΣ» οι απαντήσεις σωματιδιακού τύπου που είναι μερικά σωστές και με «Άλλο» οι απαντήσεις που δεν αναφέρουν τη λέξη σωματίδιο αλλά «οργανισμός», «πραγματάκι» κλπ.:



Στις ερωτήσεις που απαιτούσαν από τους μαθητές να σχεδιάσουν τα μόρια όπως αυτοί νομίζουν ότι είναι, πριν τη διδακτική παρέμβαση περίπου το 50% δεν έκανε κανένα σχέδιο. Ένα ποσοστό ύψους 30%, ωστόσο, σχεδίασε μοντέλα σωματιδίων που προσεγγίζουν την επιστημονικά αποδεκτή απάντηση. Από τη συνέντευξη διαπιστώσαμε ότι τέτοιου είδους οπτικοποιήσεις έχουν παρατηρήσει σε βιβλία ή σε εκπομπές της τηλεόρασης. Δεν γνωρίζουν όμως τι ακριβώς είναι τα σύμβολα που χρησιμοποίησαν στα σχέδιά τους. Μετά τη διδακτική παρέμβαση, οι αναπάντητες ερωτήσεις μειώθηκαν στο 10% και στο σύνολο του δείγματος, ενώ στο τμήμα πειραματισμού το μεγαλύτερο ποσοστό σημειώθηκε στη σωστή σχεδίαση (52,6%). Στο τμήμα ελέγχου οι περισσότερες απαντήσεις (47,6 %) συγκεντρώθηκαν στη σχεδίαση όπου εμπλεκόταν το επίπεδο του ΜακρόΚοσμου με αυτό του μικρόΚοσμου.

Για την κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων της έρευνας για την έννοια της διαστολής, όπου οι μαθητές της ομάδας πειραματισμού ήταν ελεύθεροι να χρησιμοποιήσουν ή όχι το πρότυπο του μικρόκοσμου, ακολουθήθηκε η πρόταση του Johnson (1998a) στην οποία αναφέρονται τέσσερις βασικές κατηγορίες απαντήσεων: 1. Το σωματιδιακό πρότυπο δεν χρησιμοποιείται από τους μαθητές, 2. Οι μαθητές αναφέρουν τα σωματίδια αλλά τα θεωρούν τοποθετημένα μέσα στο υλικό, 3. Αποδέχονται ότι τα σωματίδια είναι το σώμα, αλλά τους προσδίδουν μακροσκοπικές ιδιότητες, 4. Τα σωματίδια με τις δικές τους μικροσκοπικές ιδιότητες αποτελούν την ουσία και προσδίδουν σε αυτή μακροσκοπικές ιδιότητες. Διευκρινίζουμε ότι στην έρευνά μας, στην πρώτη ομάδα απαντήσεων καταχωρήθηκαν απαντήσεις στις οποίες είτε δεν αναφερόταν το σωματιδιακό πρότυπο είτε το χρησιμοποιούσαν οι μαθητές με εντελώς λανθασμένο τρόπο. Πριν τη διδακτική παρέμβαση κανένας από τους μαθητές της ομάδας πειραματισμού δεν χρησιμοποίησε το πρότυπο του μικρόΚοσμου για την ερμηνεία του φαινομένου της διαστολής. Μετά τη διδακτική παρέμβαση οι απαντήσεις τους αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα:



Τα Συμπεράσματα – Οι Προτάσεις

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι οι μαθητές στην ηλικία 10-11 ετών έχουν ακούσει για το σωματιδιακό πρότυπο από διάφορες πηγές και έχουν σχηματίσει εναλλακτικές παραστάσεις για το συγκεκριμένο πρότυπο πριν έρθουν στην Ε' τάξη του Δημοτικού Σχολείου. Αυτή η διαπίστωση ενισχύει τις προσπάθειες που καταβάλλονται για την εισαγωγή του προτύπου του μικρόΚοσμου στη διδακτέα ύλη της συγκεκριμένης βαθμίδας.

Σύμφωνα με τους αρχικούς μας ερευνητικούς στόχους, φαίνεται ότι μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων οι μαθητές της ομάδας πειραματισμού είναι σε θέση να περιγράψουν ένα απλό σωματιδιακό πρότυπο σε ικανοποιητικό βαθμό (50%), ενώ ένα ικανοποιητικό ποσοστό παιδιών αναφέρουν ότι όλα τα σώματα του μακρόκοσμου αποτελούνται από σωματίδια. Από τις διαφορές στην ομάδα πειραματισμού και στην ομάδα ελέγχου, συμπεραίνουμε ότι τα ανάλογα που χρησιμοποιήθηκαν και η αξιοποίηση εκπαιδευτικού λογισμικού σε συνδυασμό με την αφιέρωση διδακτικού χρόνου στο πρότυπο του μικρόΚοσμου, συνεισφέρουν σημαντικά στην πρώτη αυτή προσέγγιση του προτύπου.

Ωστόσο, επιβεβαιώθηκε η αρχική μας εκτίμηση ότι η ιδέα των μαθητών πως υπάρχει «κάτι» μεταξύ των σωματιδίων, όπως αέρας, παρέμεινε σε κάποιους μαθητές της ομάδας πειραματισμού. Ακόμα, παρά το ότι στην ενότητα της διαστολής διδάχθηκε η ερμηνεία του φαινομένου με βάση το σωματιδιακό πρότυπο, λίγοι μαθητές (22,7 %) καταφέρνουν επιτυχώς να χρησιμοποιούν το σωματιδιακό πρότυπο για ερμηνευτικούς σκοπούς με έναν επιστημονικά αποδεκτό τρόπο.

Βέβαια, αναγνωρίζουμε ότι μια πρώτη εισαγωγή του σωματιδιακού προτύπου θα οδηγήσει σε εναλλακτικές απόψεις που καταγράφονται και σε άλλες έρευνες και οι οποίες με τη διδασκαλία του προτύπου σε μεγαλύτερες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης θα αντιμετωπιστούν. Υπάρχουν ήδη αρκετές έρευνες που δείχνουν αφενός γιατί η σωματιδιακή δομή της ύλης αποτελεί ένα δελεαστικό θέμα, αφετέρου δε πού οι μαθητές αποτυγχάνουν. Η προσπάθεια εισαγωγής των σωματιδιακών ιδεών νωρίς στην εκπαίδευση των μαθητών, και στη συνέχεια η συχνή επαναδιαπραγμάτευσή τους και βελτίωσή τους κατά την ερμηνεία διαφόρων φαινομένων, όντως φαίνεται να οδηγεί σε βάθος χρόνου στη χρήση του σωματιδιακού προτύπου από ικανοποιητικό ποσοστό μαθητών ως ενός ερμηνευτικού προτύπου στις φυσικές επιστήμες, χωρίς ωστόσο να ξεπερνά τα γνωστά προβλήματα εναλλακτικών απόψεων των μαθητών στην κατανόηση και χρήση του προτύπου (Franco & Taber 2009). Φαίνεται ότι η πρόοδος προς την επιστημονική κατανόηση του σωματιδιακού προτύπου θα είναι μια ακόμα πιο αργή διαδικασία όταν αργούμε να διδάξουμε τη σωματιδιακή δομή και όταν δεν δίνουμε έμφαση στην εφαρμογή της στις ερμηνείες των διαφόρων φαινομένων. Θεωρούμε ότι η πρότασή μας με την εισαγωγή του προτύπου του μικρόκοσμου στην Ε' τάξη του δημοτικού σχολείου αξιοποιώντας τις αναλογίες και τις δραστηριότητες στον υπολογιστή συμβάλει σε μια επιτυχή πρώτη εισαγωγή της σωματιδιακής δομής της ύλης με ταυτόχρονη αντιμετώπιση κάποιων από τις σοβαρές εναλλακτικές απόψεις των μαθητών για το θέμα αυτό.

Βιβλιογραφία

Adadan, E., Irving, K.E., Trundle, K.C. (2009). Impacts of Multi-representational Instruction on High School Students' Conceptual Understandings of the Particulate Nature of Matter. *International Journal of Science Education*, 31[13], 1743–1775.

Aiello–Nicosia, M.L. & Sperandeo–Mineo, R.M., (2000). “Educational reconstruction of physics content to be taught and of pre-service teacher training: a case study”, *International Journal of Science Education* 22(10), pp. 1085-1097.

Bouwma-Gearhart, J., Stewart, J., Brown, K. (2009). Student Misapplication of a Gas-like Model to Explain Particle Movement in Heated Solids: Implications for curriculum and instruction towards

students' creation and revision of accurate explanatory models. *International Journal of Science Education*, 31[9], 1157–1174.

Eshach, H. & Fried, M. (2005). Should science be taught in early childhood?. *Journal of Science Education and Technology*, 14[3], 315–336.

Feynman, R., Leighton R. & Sands, M. (1977). *The Feynman Lectures on Physics* (6th reprint), Reading MA: Addison-Wesley.

Francoa, A.G. & Taberb, K.S. (2009). Secondary Students' Thinking about Familiar Phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organising teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31[14], 1917–1952.

Gabel, D. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70[3], 193–194.

Georgousi, K., Kampourakis, C., Tsaparlis, G. (2001). Physical-science knowledge and patterns of achievement at the primary-secondary interface, Part 2: Able and top-achieving students. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2[3], 253–263.

Girwidz, R. (2004). “Illustrations and Animated Visual Presentations”, paper read to the International Conference of Groupe International de Recherche sur l' Enseignement de la Physique, July, Ostrava, Czech Republic.

Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). “A typology of school science models”, *International Journal of Science Education* 22(9), pp. 1011-1026.

Johnson, P. M. (1998a). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393–412.

Kallery, M., Psillos, D., Tselfes, V. (2009). Typical Didactical Activities in the Greek Early-Years Science Classroom: Do they promote science learning?. *International Journal of Science Education*, 31 [9], 1187–1204.

Korobilis, K., Hatzikraniotis, E. & Psillos, D. (2003). "A study on science teachers' use of design features of a simulated visual laboratory to develop active involvement of students in the teaching of thermodynamics at senior high school", in Constantinou, C.P. & Zacharias, Z.C. (eds), *Proceedings of conference on Computer based learning in Science*, Nicosia: Department of Educational Sciences.

Löfgrena, L. & Helldéna, G. (2009). A Longitudinal Study Showing how Students use a Molecule Concept when Explaining Everyday Situations. *International Journal of Science Education*, 31[12], 1631–1655.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13, 125–139.

Myers, G. (1990). Every picture tells a story: Illustrations in E.O. Wilson's sociobiology. In M.Lynch & S. Woolgar (Eds.), *Representation in scientific practice* (pp. 231–266.). Cambridge, MA: The MIT Press.

Papageorgiou, G., Grammaticopoulou, M., Johnson, P.M. (2010). Should we Teach Primary Pupils about Chemical Change?. *International Journal of Science Education*, 32[12], 1647–1664.

Papageorgiou, G., & Johnson, P. M. (2005). Do particle ideas help or hinder pupils' understanding of phenomena?. *International Journal of Science Education*, 27[11], 1299–1317.

Thiele R. & Treagust D. (1992). Analogies in senior high school chemistry text-books: A critical analysis, in H. J. Schmidt (Ed.), *Empirical Research Chemistry and Physics Education*, 175-192, Hong Kong: ICASE.

Vosniadou S. & Brewer W. (1987). Theories of knowledge restructuring in development, *Review of Educational Research*, 57(1), 51-67.