

**OSTRAVSKÁ UNIVERZITA V OSTRAVĚ**  
**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

---



**UNIVERSITAS**  
OSTRAVIENSIS

**Nanotechnology in high school curriculum.**

Doctoral thesis

**Author:** Mgr. Sylwia Budzik  
**Major:** Teorie vzdělávání ve fyzice  
**Promoter:** Doc. RNDr. Dalibor Dvořák, CSc.  
**Co – Promoter:** Prof. Czesław Kizowski

**OSTRAVA 2011**

## **ABSTRACT**

The progress in teaching should be in accord with the progress of science, that's why the subject of teaching must be supplemented by the elements of modern knowledge which permit pupils to understand better what happens around us. The end of XX century is characterised by the rapid development of nanotechnology, which is deal with in this paper.

Development of the science in the end of the XX century and at the beginning of the XXI century is presented in Introduction. The research problem, aims and base of doctoral thesis are presented in the first chapter. The second chapter is connected with project of solution, it means with the analysis of "teaching contents". The operational aims, basic theorems and "didactic matrix", which shows logical relations between nanotechnology elements are presented in this chapter. Pedagogical and psychological base of doctoral thesis is depicted in the third chapter. There is teenager characteristic – the age of pupils, when we can introduce this kind of concepts. The main quantum mechanics concepts are presented in third chapter too. The physical, psychological and pedagogical point of view formed the basis for research. Experimental part is contained in fourth chapter. General education system in Poland and 4th educational stage is high school as a level, where is the possibility to increase the use of mathematics are shown in the first subsection of fourth chapter. The second subsection of fourth chapter contains the survey for teachers results. There are concepts indicated by the teacher, which should be introduced to the curriculum of science subject in high school. The hypotheses and the methods used in the research are presented in the third subsection of the fourth chapter. Research conditions are indicated in the fourth subsection of the fourth chapter. There are taken into account the following categories: type of class, different backgrounds, average mark in a class. Preliminary research conclusions from all classes are shown in the fifth subsection of the fourth chapter and final research conclusions from all classes are shown in the sixth subsection of the fourth chapter. Conclusions from the doctoral thesis are in the last chapter. There is summary and deduction if the working hypothesis is proved.

References, annexes (Physics core curriculum, survey for teachers, test for pupils, lessons, and agreement to the cooperation with schools) and author Curriculum vitae are at the end of this doctoral thesis.

## ABSTRAKT

Rozvoj výuky na školách musí sledovat vědecký pokrok, a proto je nutné doplňovat obsah výuky o základní poznatky, nutné proto, aby veřejnost pochopila změny, ke kterým dochází všude kolem nás. Konec XX. století je charakterizován dynamickým rozvojem nanotechnologií, na který je zaměřena tato práce.

V úvodu předkládané práce je stručně popsán rozvoj vědy koncem XX. století a na začátku XXI. století. V první kapitole je charakterizován výzkumný problém, cíle a hlavní zásady při vypracování doktorské práce. Druhá kapitola obsahuje metody užití při řešení výzkumného problému, tzn. především podrobnou analýzu potřebných podkladů a teoretických východisek. V druhé kapitole jsou dále uvedeny dílčí cíle, základní pojmy a didaktická východiska vedoucí k logickým vztahům mezi jednotlivými prvky nanotechnologií. Pedagogická a psychologická východiska práce jsou uvedeny ve třetí kapitole, ve které je provedena charakteristika adolescentů, tedy žáků, kteří jsou ve věku, kdy je možné zavést potřebné prvky do výuky. Ve třetí kapitole jsou rovněž uvedeny základní pojmy z kvantové mechaniky. Východiskem výzkumu je celkový pohled z hlediska fyziky, psychologie a pedagogiky. Čtvrtá kapitola je věnována experimentálnímu ověření. V první podkapitole čtvrté kapitoly je popsán polský obecný vzdělávací systém a čtyřletá výuka na střední škole, která tvoří základ pro rozšíření výuky matematiky. Druhá podkapitola obsahuje výsledky ankety mezi učiteli. Je zde uvedeno navrhované rozšíření obsahu výuky na čtvrtém stupni vzdělávání a profil třídy, ve které by mohlo být zavedeno navrhované rozšíření výuky. Ve třetí podkapitole jsou uvedeny hypotézy a metody, které byly použity při výzkumu. Při výzkumu byly vzaty do úvahy: profil třídy, různé společenské podmínky a průměrné hodnocení v každé třídě. Výsledky výzkumu provedeného na počátku výzkumu jsou uvedeny v páté podkapitole a výsledky výzkumu provedeného na konci výzkumu v šesté podkapitole. V závěrečné kapitole jsou uvedeny přínosy práce, její shrnutí a závěrečné konstatování o potvrzení pracovní hypotézy.

Na konci práce je pak uveden seznam literatury, přílohy (základní principy všeobecného vzdělávání, anketní dotazník pro učitele, scénář výuky, souhlas škol s účastí ve výzkumu) a Curriculum Vitae autorky práce.

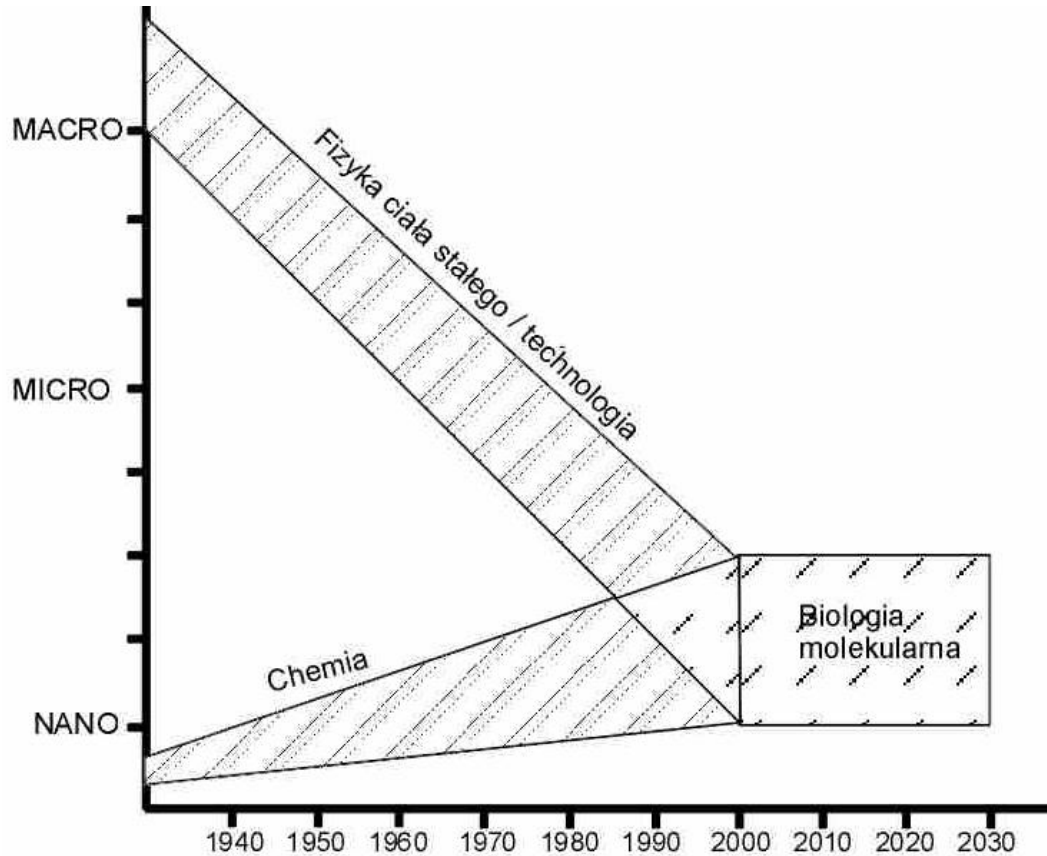
**KEY WORDS:** nanotechnology, contents of teaching, quantum mechanics, formal thinking, Markov chains

# CONTENTS OF DOCTORAL THESIS

<b>Introduction .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Research problem and doctoral thesis aims .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Project of solution .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Theoretical starting point of doctoral thesis .....</b>	<b>19</b>
3.1 <i>Pedagogical and psychological point of view .....</i>	19
3.2 <i>Physical point of view .....</i>	23
3.3 <i>Pedagogical papers analysis .....</i>	45
<b>4. Experimental part.....</b>	<b>51</b>
4.1 <i>Present situation in schools .....</i>	51
4.2 <i>Changing project in teaching process .....</i>	52
4.3 <i>Research hypotheses, used methods .....</i>	57
4.4 <i>Research conditions.....</i>	61
4.5 <i>Preliminary research conclusions .....</i>	62
4.6 <i>Final research conclusions.....</i>	87
<b>Conclusion.....</b>	<b>109</b>
<b>References.....</b>	<b>111</b>
<b>Annex no. 1</b> ( <i>Physics core curriculum for the 4 education stage - The Minister of National Education order on 15.01.2009</i> ).....	<b>114</b>
<b>Annex no. 2</b> ( <i>Survey for teachers</i> ).....	<b>122</b>
<b>Annex no. 3</b> ( <i>Test for pupils</i> ).....	<b>129</b>
<b>Annex no. 4</b> ( <i>Lessons</i> ).....	<b>135</b>
<b>Annex no. 5</b> ( <i>Agreement to the cooperation with schools</i> ).....	<b>214</b>
<b>Annex no. 6</b> ( <i>Electronic handbook</i> ).....	<b>CD</b>
<b>Professional Curriculum vitae.....</b>	<b>217</b>
<i>Conferences.....</i>	217
<i>Publications.....</i>	217
<i>To date doctorate progress.....</i>	218

## Introduction

The fast progress of nanotechnology, which belongs to the most dynamically developing branches of science and technology and brings together various sciences such as solid state physics, chemistry, material science and molecular biology has been already observed for the past several years.



*Fig.1. Development of the science in the end of the XX century and at the beginning of the XXI century. [29]*

Today quantum technologists can catch and trap single atoms and make experiments with them. They can reflect atoms in the electromagnetic field, draw the atomic graffiti, move the atoms on solid surface, copy the structure of crystal and reveal separate atoms. These experiments deeply penetrate into the quantum world, associating strongly quantum mechanics with the practice.[20]

Today there are many things around us, which owe to nanotechnology their own existence e.g.: the compact discs player, non – drop paint, car stop lights, optical waveguide telecommunication, the brain tomography which uses nuclear magnetic resonance and scanning tunnelling microscopy.[20]

## **1. Research problem and doctoral thesis aims**

The natural questions arise:

**Can the nanophysics' achievements open up the perspectives of introducing the basic concepts of this sphere into physics curriculum at high school?**

**If we notice that:**

- The world of quanta is necessary,
- There is no other basic science concerning Nature like Physics which bear the responsibility to search for the answers to ultimate questions.
- And if we also consider the „*Contents of Teaching*”

An answer to the above questions seems to be affirmative.

**It is necessary to familiarise the pupils with the fundamental concepts of quantum mechanics for the better understanding the principles which rule the microworld.**

With the development of science the contents of teaching physics should change at least on the level of high school. On the first physics educational step (junior high school in Poland) we teach the rules of the world around us (the XX century physics). On the second physics educational step (high school) physics depicts the secrets of the microworld as well as possible, should show the difference between macro- and microworld. For example the conductance in quantum circuits is a step function, but in classical circuits is a continuous function.

The analysis of literature and matriculations proves that the pupils' knowledge level and skill of microworld behaviour analysis are low.

The object of the doctoral thesis is nanotechnology terms simplification. Simplification is a skill of showing the physics terms in order to avoid formalisation and too much abstraction. One should base on the knowledge from developmental psychology about cognitive possibilities of every age group.

In simplification we can distinguish:

- Strict and right description of an issue, but mathematical by easier with graphics methods;
- Often given the experiments as examples;
- Easier language;
- Replacement the proofs by arguments;
- Often using thinking experiments;
- Avoiding general situations and replacing them by examples.

Curriculum, which deal with nanotechnology terms will be conduce to obtain by pupils: the skill of microworld behaviour analysis and change the way of microworld view.

The main aim is to develop the skill of pupils thinking – how the nanotechnology contents will develop the skill of analysis and synthesis of microworld knowledge. The achievements of modern technology result from the special microworld behaviour, for example: assemblers, solar panels, carbon nanotube transistors, quantum circuits (nanocircuits), cancer detectors etc. consequently the aim will be to educate some group of people who will study physics and will be deal with things compatible with people requirements.

The main aim of doctoral thesis:

Achieving by pupils the skill of wide – spread perception of the world and getting to know the main ideas of physics progress.

Detailed aims:

- get to know the character of quantum processes;
- knowledge of language and symbols which describe quantum events;
- explanation of particle's behaviour, which can be found a locked area (the basic state, the tunnelling effect, progress of scanning microscopy);
- get to know the heterostructures (3D, 2D, 1D, 0D) and the elements of quantum circuits (QPC, SET);
- get to know the idea of quantum computer progress;

- get to know the science achievements in molecular biology (fullerens and its using).

## 2. Project of solution

If one wants to introduce new concepts into physics curriculum, it is necessary to make the analysis of the topics, which are to be introduced. This analysis ought to be made from the both points of view - the “teaching contents” as well as didactics.

It should lead up to the structural configuration of contents which means it should be able to make the model of the physical reality.[22]

One can distinguish the following steps in the analysis of “teaching contents”:

1. To make the precise records of the goals, which are to be achieved by the pupils after they complete definite parts of the course. These goals have to be expressed in terms of concrete knowledge, skills and habits.
2. To prepare the list of basic theorems (the record of the basic knowledge), which the learner is to assimilate. This list can be useful eventually when preparing the achievement test.
3. To prepare the “didactic matrix”, by means of which one can carry out an analysis of the essential and logical relations between the chosen rule and the rest of them.

The three steps, which are related to nanotechnology and could be, in my opinion, introduced into physics curriculum at the high school level, are presented below.

Ad.1) Operational aims are concrete and clear descriptions of the teaching results.

In Poland the most popular classification of aims is ABC (Niemierko’s classification):

- A. remembering knowledge;
- B. understanding knowledge;
- C. using knowledge in a typical situation;
- D. using knowledge in a problem situation.

The record of knowledge and skills, which a learner have to assimilate and remember:

- define nanotechnology idea – A;
- to explain quantum processes character – B;

- to interpret hidden variables hypothesis – B;
- to show that hidden variables do not exist – C;
- to explain the probability of quantum events – B;
- to explain what Feynman's rule means – A;
- use the probability amplitude – C;
- illustrate the probability amplitude by means of an "arrow" – A;
- to explain the probability of finding the particle in a locked area – B;
- to explain the quantum limitations of the particle's energy – B;
- to give the electron's energy formula – A;
- to interpret the electron's energy formula in the potential well – B;
- to explain the "energy level" notion – B;
- to explain the principle of operation of STM (*Scanning Tunnelling Microscope*) and AFM (*Atomic Force Microscope*) – C;
- to explain the utilisation of "laser cooling of atoms" (the idea of optical crystal and the atomic laser) – B;
- to define the Heisenberg's uncertainty principle – A;
- to explain the Heisenberg's uncertainty principle – B;
- to explain what is hidden under the notion of low - dimensional structures (2DEG – *2 dimensional electron gas*, 1DEG – *1 dimensional electron gas*, 0DEG – *0 dimensional structures*) - B;
- to explain the tunnelling effect – B;
- to give the examples of quantum circuits (e.g. *split-gate*) – B;
- to characterise the density of states and to draw the  $\rho(E)$  characteristics for quantum structures with different dimensions – C;
- to interpret the  $\rho(E)$  characteristics for each heterostructure – C;
- to describe the quantum work of QPC (*quantum point contact*) and SET (*Single Electron Transistor*) – C;
- to compare the changes of conductance in classical and quantum circuits – C;
- to explain the logical gates and quantum computer idea – C.

Ad.2) The basic theorems, which a learner should assimilate with during nanotechnology learning:

- Quantum processes are subject to the quantum rule (hidden variables do not exist, they might qualify the particle's behaviour in microworld).
- The probability amplitude describes the probability of a quantum event; it depends on two real numbers and it can be manipulated.
- The probability amplitude of an event, which can take place in many different ways, is subject to the "Feynman's rule" (it says about the summing up of amplitudes - separately for each of these ways).
- There exist quantum limitations of a particle's energy, which can be found in a locked area (e.g. metal) and it is connected with the probability amplitude. The experimental proof is QPC (*quantum point contact*), where the conductance is a step function.
- The lowest energy state of the particle (the basic state) doesn't represent a motionless particle.
- One can meet the tunnelling effect in quantum phenomena, consisting in penetration of the particle through the potential barrier.
- Tunnelling effect is used in modern scanning microscopes (STM, AFM).
- Magneto – optical traps are used to stop and to research atoms. Thanks to this the atomic laser came into being - the coherent source of the matter.
- One can use so-called heterostructures (e.g.: 3DEG – *3 dimensional electron gas*, where the carriers movement is not limited to any direction) to building nanocircuits.
- *2 – dimensional electron gas (2D)* – the carriers movement is limited to one dimension,

- *1 – dimensional electron gas (1D)* – the carriers movement is limited to two dimensions,
- *0 – dimensional electron gas (0D)* – the carriers movement is limited to three dimensions.
- The quantity of possible electrons states on a volume unit and the singular partition of energy is the density of states -  $\rho(E)$ .
- The elements of quantum circuits are: QPC – *quantum point contact*, that is the narrowing between two areas 2D, SET – *Single Electron Transistor* – mechanism which controls the flux of current – by single electron.
- Example – circuit is: the gate with a gap - 2D closed between two different semiconductor materials, on which there are metallic electrodes; the Taylor's circuit - 6 surface gates which we can be individually controlled by reducing the depletion areas in 2DEG.
- The gate (e.g. the gate NOT or AND) is a system which realises the certain logical operation, and we can use the simple diagram to describe it.
- Fundamental elements - gates - are used to construct the quantum computer. These elements are joined together into greater functional units, which are elements of further units etc. until the construction of the whole computer is done.

Ad.3) According to the basic postulate of modern didactic, which is the structural content selection, and according to the basic theorems from point number 2), I suggest introducing the following nanotechnology elements to the high school curriculum:

- probability (e.g.  $\int |\psi(x)|^2 dx = 1$  - the probability of finding the electron somewhere)
- wavefunction ( $\psi(x) = \langle x | \psi \rangle$ )
- tunnelling effect
- Heisenberg uncertainty principle ( $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2}$  or  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2}$ )

- matter wave ( $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ )
- particle in quantum well ( $E_n = \frac{n^2 h^2}{8nL^2}$ )
- modern scanning microscopes (STM, AFM)
- heterostructures (3DEG, 2DEG, 1DEG, 0DEG)
- nanocircuits
- carbon nanotubes and fullerenes.

They will explain – on the one hand – new getting to know phenomena, which take place in the microworld, and on the other hand – will allow to formulate and develop the new theory.

The concepts above are matrix elements with sign from  $x_1$  to  $x_{10}$ . I do the matrix with these elements and with relations between them. Matrix method, where I cross off the columns with zeros, lets me know the right order of introducing new elements to the core curriculum.

The “didactic matrix”, which shows logical relations between nanotechnology elements, is presented below.

*Tab.1. Matrix elements are nanotechnology elements and number 1 indicates relation between these elements.*

n. el. n.el.	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>	x <sub>8</sub>	x <sub>9</sub>	x <sub>10</sub>
x <sub>1</sub>			1	1		1	1	1	1	1
x <sub>2</sub>				1	1	1	1	1	1	1
x <sub>3</sub>						1	1	1	1	1
x <sub>4</sub>						1	1	1	1	1
x <sub>5</sub>			1	1		1	1	1	1	1
x <sub>6</sub>								1	1	1
x <sub>7</sub>									1	
x <sub>8</sub>									1	
x <sub>9</sub>										
x <sub>10</sub>									1	

**x<sub>1</sub>** – probability (e.g.  $\int |\psi(x)|^2 dx = 1$  - the probability of finding the electron somewhere)

**x<sub>2</sub>** – wavefunction ( $\psi(x) = \langle x | \psi \rangle$ )

**x<sub>3</sub>** – tunnelling effect

**x<sub>4</sub>** – Heisenberg uncertainty principle ( $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$  or  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$ )

**x<sub>5</sub>** – matter wave ( $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ )

**x<sub>6</sub>** – particle in quantum well ( $E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2}$ )

**x<sub>7</sub>** – modern scanning microscopes (STM, AFM)

**x<sub>8</sub>** – heterostructures (3DEG, 2DEG, 1DEG, 0DEG)

**x<sub>9</sub>** – nanocircuits

**x<sub>10</sub>** – carbon nanotubes and fullerenes.

Graf will have following formula:

$$G = \{ /x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}/, /x_1, x_3/, /x_1, x_4/, /x_1, x_6/, /x_1, x_7/, /x_1, x_8/, /x_1, x_9/, /x_1, x_{10}/, /x_2, x_4/, /x_2, x_5/, /x_2, x_6/, /x_2, x_7/, /x_2, x_8/, /x_2, x_9/, /x_2, x_{10}/, /x_3, x_6/, /x_3, x_7/, /x_3, x_8/, /x_3, x_9/, /x_3, x_{10}/, /x_4, x_6/, /x_4, x_7/, /x_4, x_8/, /x_4, x_9/, /x_4, x_{10}/, /x_5, x_3/, /x_5, x_4/, /x_5, x_6/, /x_5, x_7/, /x_5, x_8/, /x_5, x_9/, /x_5, x_{10}/, /x_6, x_8/, /x_6, x_9/, /x_6, x_{10}/, /x_7, x_9/, /x_8, x_9/, /x_{10}, x_9/ \}$$

Relations between matrix elements:

$x_1 \rightarrow x_3$

$x_1 \rightarrow x_4$

$x_1 \rightarrow x_6$

$x_1 \rightarrow x_7$

$x_1 \rightarrow x_8$

$x_1 \rightarrow x_9$

$x_1 \rightarrow x_{10}$

$x_2 \rightarrow x_4$

$x_2 \rightarrow x_5$

$x_2 \rightarrow x_6$

$x_2 \rightarrow x_7$

$x_2 \rightarrow x_8$

$$x_2 \rightarrow x_9$$

$$x_2 \rightarrow x_{10}$$

$$x_3 \rightarrow x_6$$

$$x_3 \rightarrow x_7$$

$$x_3 \rightarrow x_8$$

$$x_3 \rightarrow x_9$$

$$x_3 \rightarrow x_{10}$$

$$x_4 \rightarrow x_6$$

$$x_4 \rightarrow x_7$$

$$x_4 \rightarrow x_8$$

$$x_4 \rightarrow x_9$$

$$x_4 \rightarrow x_{10}$$

$$x_5 \rightarrow x_3$$

$$x_5 \rightarrow x_4$$

$$x_5 \rightarrow x_6$$

$$x_5 \rightarrow x_7$$

$$x_5 \rightarrow x_8$$

$$x_5 \rightarrow x_9$$

$$x_5 \rightarrow x_{10}$$

$$x_6 \rightarrow x_8$$

$$x_6 \rightarrow x_9$$

$$x_6 \rightarrow x_{10}$$

$$x_7 \rightarrow x_9$$

$$x_8 \rightarrow x_9$$

$$x_{10} \rightarrow x_9$$

Element  $x_1$  has relation with  $x_3, x_4, x_6, x_7, x_8, x_9,$  and  $x_{10}$ , it means that we must introduce  $x_1$  element and then the following:  $x_3,$  etc.

Vertexes represented by relation column, where there are only zeros, belong to  $X_1$  class. We have the following matrix:

*Tab.2. Matrix which we get after cross off the  $x_1$  and  $x_2$  column in first matrix.*

n. el. \ n.el.	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
$x_3$				1	1	1	1	1
$x_4$				1	1	1	1	1
$x_5$	1	1		1	1	1	1	1
$x_6$						1	1	1
$x_7$							1	
$x_8$							1	
$x_9$								
$x_{10}$							1	

We get new matrix without  $x_1, x_2$  column. Elements  $x_1$  and  $x_2$  belong to the  $X_1$  class and we can write:

$$X_1 = x_1, x_2$$

After that I do the same with the second matrix. I cross off the column with zeros -  $x_5$  and this verse, which corresponds to the  $x_5$  column. We get another matrix:

*Tab.3. Matrix which we get after cross off the  $x_5$  column in second matrix.*

n. el. \ n.el.	$x_3$	$x_4$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
$x_3$			1	1	1	1	1
$x_4$			1	1	1	1	1
$x_6$					1	1	1
$x_7$						1	
$x_8$						1	
$x_9$							
$x_{10}$						1	

We get new matrix without  $x_5$  column. Element  $x_5$  belongs to the  $X_2$  class and we can write:

$$X_2 = x_5$$

After that I do the same with the third matrix. I cross off the columns with zeros –  $x_3, x_4$  and these verses, which correspond to the  $x_3, x_4$  columns. We get another matrix:

*Tab.4. Matrix which we get after cross off the  $x_3$  and  $x_4$  columns in third matrix.*

n. el.	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
n.el.					
$x_6$			1	1	1
$x_7$				1	
$x_8$				1	
$x_9$					
$x_{10}$				1	

We get new matrix without  $x_3, x_4$  columns. Elements  $x_3$  and  $x_4$  belong to the  $X_3$  class and we can write:

$$X_3 = x_3, x_4$$

After that I do the same with the fourth matrix. I cross off the columns with zeros –  $x_6, x_7$  and these verses, which correspond to the  $x_6, x_7$  columns. We get another matrix:

*Tab.5. Matrix which we get after cross off the  $x_6$  and  $x_7$  columns in fourth matrix.*

n. el.	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
n.el.			
$x_8$		1	
$x_9$			
$x_{10}$		1	

We get new matrix without  $x_6, x_7$  columns. Elements  $x_6$  and  $x_7$  belong to the  $X_4$  class and we can write:

$$X_4 = x_6, x_7$$

After that I do the same with the fifth matrix. I cross off the columns with zeros –  $x_8, x_{10}$  and these verses, which correspond to the  $x_8, x_{10}$  columns. We get another matrix:

*Tab.6. Matrix which we get after cross off the  $x_8$  and  $x_{10}$  columns in fifth matrix.*

n. el.	$x_9$
n.el.	
$x_9$	

We get new matrix without  $x_8, x_{10}$  columns. Elements  $x_8$  and  $x_{10}$  belong to the  $X_5$  class and we can write:

$$X_5 = x_8, x_{10}$$

The last class of vertex is the  $X_6$  class. We can write:

$$X_6 = x_9$$

I have established some kind of order of introducing nanotechnology elements to the core curriculum. So we get:

$$X_1 = x_1, x_2$$

$$X_2 = x_5$$

$$X_3 = x_3, x_4$$

$$X_4 = x_6, x_7$$

$$X_5 = x_8, x_{10}$$

$$X_6 = x_9$$

This is the right order of introducing the concepts proposed in this dissertation. This order of concepts is the source of making up lessons (annex number 4).

### **3. Theoretical starting point of doctoral thesis**

#### ***3.1 Pedagogical and psychological point of view***

Piaget has identified a number of distinct stages of intellectual development. He proposed that children move through each of these stages in turn, in the sequence and at approximately the ages shown below. The speed at which children move through each stage, although influenced by each child's particular experiences, is essentially controlled by biologically determined maturational processes. The process cannot be hastened – a child must be maturationally ready before progressing to the next stage. At each stage, new, more sophisticated, levels of thinking are added to the child's cognitive repertoire.

##### Stage 1: Sensorimotor (approximately birth to two years)

In this stage the child experiences the world mainly through immediate perceptions and through physical activity, without thought as adults know it. For example, not until about eight months does a child have any concept of object permanence. Until then, out of sight is out of mind, and children will not attempt to look for a previously visible object which is placed out of sight as they watch. Their thinking is dominated by the "here and now". With the acquisition of the object concept and when other means of knowing, such as memory and language, are available to them, the sensorimotor stage is at an end. The child can now anticipate the future and think about the past.

##### Stage 2: Preoperational (approximately two to seven)

This is the stage that has been most extensively studied by Piaget. It marks a long period of transition which culminates in the emergence of operational thinking. With the development of language the child is now capable of symbolic thought, but Piaget argues that the child's intellectual capabilities are still largely dominated by his or her perceptions, rather than by a conceptual grasp of situations and events.

Piaget described a number of limitations (egocentrism, centration and irreversibility) to a child's thinking which exist at this stage of development. Egocentrism refers to children's inability to see the world from anything but their own point of view. They are not capable of understanding that there can be viewpoints other than their own. Centration involves attending to (centring on) only one feature of a situation and ignoring others, no matter how relevant. The child's inability to decentre is apparent in Piaget's famous conservation tasks (similar task with area, length, weight

and so on). Irreversibility shows the inability of preoperational children to work backwards mentally to a starting point.

Stage 3: Concrete operations (approximately 7 – 11 years)

The main features of this stage are:

- the acquisition of reversible thinking, and
- the ability to decentre.

Hence, children confronted with conversation tasks are capable of understanding the concept of invariance, partly because they realize that the transformation of shape, volume, spatial distributions, and so on are capable of being reversed, and partly because their thinking is no longer dominated by only one feature of a situation.

Piaget maintains that conservation takes place in a definite order, with the conservation of number coming first at approximately six or seven years and conservation of volume being achieved last at about 11 or 12 years of age. The child also becomes less egocentric, and is now capable of seeing objects and events from the viewpoint of another.

Another important feature of this stage is the child's increasing ability to handle such concepts as classification – the ability to group objects together logically in terms of their common characteristics – and seriation – the ability to arrange items in rank order in terms, for example, of their colour or size. The stage of concrete operations is so called because the child needs to manipulate and experiment with real objects, in order to solve problems in a logical way. For example, children at this stage will have difficulty dealing with the verbal problem “Joan is taller than Susan; Joan is smaller than Mary; who is the smallest?” in their heads, but would have no difficulty if given three dolls to represent Joan, Susan and Mary.

Stage 4: Formal operations (approximately 11 years onwards)

This stage marks the emergence of the ability to reason in the abstract without having to rely on concrete objects or events. Children's thinking increasingly resembles that of adults: they are able to solve a problem in their head by systematically testing out several propositions, by isolating such propositions and at the same time considering their interrelatedness.[19]

We can single out six phases, starting from basic toddler's behaviour patterns till adolescence, which give the other development structures:

Toddler (1,5 – 2 years old, before the development of speech and thinking in a strict sense):

1. The phase of reactions, hereditary structure, first emotions and instincts.
2. The phase of first motion habits, first organised observations and first varied feelings.
3. The phase of sensomotoric intelligence, i.e. practical (preceding speech), elementary affective state.

Pre – school child (2 – 7 years old):

4. The phase of intuitive intelligence, spontaneous interpersonal feelings and social relationship submitting to adults.

School child (7 – 11,12 years old):

5. The phase of particular intelligence operations (beginning of the logic), moral and social feelings of a relationship.

Adolescence:

6. The phase of abstract, intellectual operations, shaping the character, effective and intellectual entering adult's society.

Concrete, sensomotoric thinking is based on the manipulation of objects. This type of thinking is typical of animals and small children. Due to this fact the adults solve practical tasks (for example: preparation of a dish).

Abstract thinking, conceptual thinking relies on terms operation. Adults think by means of terms (for example: designing curriculum).

A child thinks more concretely from one problem to another – it depends on reality – a child doesn't connect their solutions by means of a global theory, which would provide a rule of these solutions.

What strike us is the interest in out of date problems in adolescence, not related with reality ones, problems which naively predict the future strange situation of the world. What is also typical is the easiness in making abstract theories.

When a child is 11 – 12 years old, there is a fundamental change in a child's thinking, this is the crash of operations: constructed during the second childhood the way from concrete thinking to formal thinking, that is hypothetical - deductive thinking. Until this age, the operations of a child's intelligence are solely concrete, related with reality and real objects, which can be manipulated and changed by experiments. Then a child's thought goes away from reality, then the absent things are changed by their

image. This image exists with a belief in its balance with reality. If children manipulate objects, they reason easily, but on the level of speech this thinking is more different and difficult because it is related with ordinary hypothesis deprived of effective reality.

In the age above 11 – 12 years old formal thinking is becoming possible, which means that the logical operations are starting to be transported from concrete manipulation level to ideas level, which are expressed by any language (word language, mathematical symbol language etc.), but without perception, experience or belief. Formal thinking is hypothetical – deductive i.e. able to deduce conclusions from hypothesis, not only from real observations. Conclusions are important regardless of real facts, that's why this form of thinking shows much bigger difficulty and bigger headwork than concrete thinking. For a child the problem is not to use operations on objects i.e. carrying out mental operations on these objects, but reflecting on these operations independently of the objects and replacing the latter with simple sentences. This reflection is in a way thinking to the second power: concrete thinking is an image of a possible action, but formal thinking is an image of an image of a possible action. Formal operations are the same ones, but used to hypotheses or sentences. They rely on the logic of sentences unlike the logic of relations, classes and numbers, regulating these sentences implications' system is only an abstract expression of concrete operations. System construction typical of adolescence period becomes possible after the beginning of formal thinking, i.e. the age 11 – 12. Formal operations give thinking new power, they lead to unrealistic ideas and freeing of everything which is real, to enable the own way of reflection and theory. Formal intelligence means the elevation the very thought. In contrast to childhood, there appears the free activity of a spontaneous reflection. Every new power of intellectual life initially assimilates the world by egocentric assimilation, to find balance later, when associated with the adaptation to reality. Thus there is adolescence intellectual egocentrism, compared with infant egocentrism, which assimilates the world to its own physical activity, and toddler's egocentrism, which assimilates things to thought emerging. Likewise sensomotoric egocentrism is reduced by the organization of action schemes and toddler egocentrism - is associated with the concrete operations balance. Adolescence egocentrism is corrected by the reconciliation of the formal thinking with reality. The balance exists when the function of a reflection is an anticipation and interpretation of the experiment.[24]

That's why the introduction of suggested contents of teaching is possible only on high school level, when the abstract thinking plays a vital role, that is terms operations, deduction from hypotheses, not only from observations.

Planning the work with pupils involves the choice of contents. In teaching a subject the choice of contents is made from the point of view of knowledge in every discipline. This kind of choice, despite criticism, still exists (not only in Polish schools). The main problem to deal with is how to manage the increasing amount of knowledge. Some kind of help can be handbooks and curriculum guidebooks made by experts. If they are prepared professionally which means that the authors devoted much time to decide which material should be chosen and has to divide it through the years of teaching – the role of a teacher is to make sure, that the area and scheme of contents is acceptable and prepares the ways of interpretation and the strategy of teaching.[15]

### ***3.2 Physical point of view***

The microworld has its own rules, that's why physicists have learned to describe it by quantum mechanics. The base to introduce nanotechnology terms will be the terms connected directly with this physics section and the elements of solid state physics.

Specifically, the following terms will be taken into account:

- Probability is a way of expressing knowledge or belief where an event will occur or has occurred.[43]
- Wavefunction, which is a mathematical tool used in quantum mechanics to describe the momentary states of subatomic particles.[41]
- State vector, which fully specifies any quantum mechanical state in which a quantum mechanical system can exist.[42]
- Schrödinger equation, which is an equation that describes how the quantum state of a physical system changes in time. In the standard interpretation of quantum mechanics, the quantum state, also called a wavefunction or a state vector, is the most complete description that can be given to a physical system. Solutions to Schrödinger's equation describe not only molecular, atomic and subatomic systems, but also macroscopic systems, possibly even the whole universe.[41]

- Step potential, where a particle may be reflected or transmitted, if the particle's energy  $E$  is lower than the barrier height  $V_0$ . [44]
- Potential barrier, which is a standard one-dimensional problem that demonstrates the phenomena of a wave – mechanical tunneling (also called "quantum tunneling") and a wave-mechanical reflection. [45]
- Tunnelling effect refers to the phenomena of a particle's ability to penetrate energy barriers within electronic structures. [43]
- Heisenberg uncertainty principle, which states that certain pairs of physical properties, like position and momentum, cannot both be known with precision. That is, the more precisely one property is known, the less precisely the other can be known. [47]
- Matter wave or de Broglie wave, which is the wave of matter. De Broglie relations show that the wavelength is inversely proportional to the momentum of a particle and that the frequency is directly proportional to the particle's kinetic energy. [48]
- Energy of a particle in a box (locked area), which may only have certain, discrete values. It means that the particle is more likely to be found at certain positions than others and it may only occupy specific energy levels. [49]
- A particle in quantum well, which is confined in two dimensions, forcing them to occupy a planar region. The effects of quantum confinement take place when the quantum well thickness becomes comparable to the de Broglie wavelength of the carriers (generally electrons and holes), leading to energy levels called "energy subbands", i.e., the carriers can only have discrete energy values. [50]
- Modern scanning microscopes (STM, AFM), where the tunnelling effect is used.
- The density of states (DOS), which describes the number of states on each energy level that are available to be occupied. [51]
- Heterostructures, i.e.: 3 – dimensional electron gas (3DEG), where the carriers move is not limited to any direction, 2 – dimensional electron gas

(2DEG) – the carriers move is limited to one dimension, 1 – dimensional electron gas (1DEG) – the carriers move is limited to two dimensions, 0 – dimensional electron gas (0DEG) – the carriers move is limited to three dimensions.

- Nanocircuits, which are electrical circuits on the scale of nanometers. With circuits becoming smaller, there is an ability to fit more on a computer chip.[52]
- Carbon nanotubes and fullerenes, which have novel properties that make them potentially useful in many applications in nanotechnology, electronics, optics and other fields of materials science, as well as potential uses in architectural fields. They exhibit extraordinary strength and unique electrical properties, and are efficient thermal conductors.[53]

In quantum mechanics we were able to write many things in a simpler way by using the idea of the “state vector”. The state vector  $|\psi\rangle$  has, of course, nothing to do with geometric vectors in three dimensions but is an abstract symbol that *stands for a physical state*, identified by the “label”, or “name”,  $\psi$ . The idea is useful because the laws of quantum mechanics can be written as algebraic equations in terms of these symbols. For instance, our fundamental law that any state can be up from a linear combination of base states is written as

$$|\psi\rangle = \sum_i C_i |i\rangle \quad (1)$$

where  $C_i$  are a set of ordinary (complex) numbers – the amplitudes  $C_i = \langle i|\psi\rangle$  - while  $|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle$ , and so on, stand for the base states in some base, or *representation*.

If you take some physical state and do something to it – like rotating it, or like waiting for the time  $\Delta t$  - you get a different state. We say, “performing an operation on a state produces a new state.” We can express the same idea by an equation:

$$|\phi\rangle = \hat{A}|\psi\rangle. \quad (2)$$

An operation on a state produces another state. The *operator*  $\hat{A}$  stands for some particular operation. When this operation is performed on any state, say  $|\psi\rangle$ , it produces

some other state  $|\phi\rangle$ . If you multiply the equation by  $\langle i|$  and expand  $|\psi\rangle$  according to Eq. (1), you get

$$\langle i|\phi\rangle = \sum_j \langle i|\hat{A}|j\rangle \langle j|\psi\rangle. \quad (3)$$

(The state  $|j\rangle$  are from the same set as  $|i\rangle$ .) This is now just an algebraic equation. The numbers  $\langle i|\phi\rangle$  give the amount of each base state you will find in  $|\phi\rangle$ , and it is given in terms of a linear superposition of the amplitudes  $\langle j|\psi\rangle$  that you find  $|\psi\rangle$  in each base state. The numbers  $\langle i|\hat{A}|j\rangle$  are just the coefficients which tell how much of  $\langle j|\psi\rangle$  goes into each sum. The operator  $\hat{A}$  is described numerically by the set of numbers, or „matrix,“

$$A_{ij} \equiv \langle i|\hat{A}|j\rangle. \quad (4)$$

If we imagine some operator  $\hat{A}$ , we can use it with any state  $|\psi\rangle$  to create a new state  $\hat{A}|\psi\rangle$ . The amplitude that the state  $\hat{A}|\psi\rangle$  is also in some other state  $|\phi\rangle$ , is  $\langle \phi|\hat{A}|\psi\rangle$ . Is there some meaning to the complex conjugate of this amplitude? You should be able to show that:

$$\langle \phi|\hat{A}|\psi\rangle^* = \langle \psi|\hat{A}^+|\phi\rangle, \quad (5)$$

where  $\hat{A}^+$  is an operator whose matrix elements are

$$(A^+)_{ij} = (A_{ji})^* \quad (6)$$

To get the  $i,j$  element of  $\hat{A}^+$  you go to the  $j,i$  element of  $\hat{A}$  (the indexes are reserved) and take its complex conjugate. The amplitude that the state  $\hat{A}^+|\phi\rangle$  is in  $|\psi\rangle$  is the complex conjugate of the amplitude that  $\hat{A}|\psi\rangle$  is in  $|\phi\rangle$ . The operator  $\hat{A}^+$  is called the „Hermitian adjoint“ of  $\hat{A}$ .

To find the average energy of a system (for example: atom), we make a measurement on some state  $|\psi\rangle$ :

$$|\psi\rangle = \sum_i C_i |\eta_i\rangle \quad (7)$$

Each of the states  $|\eta_i\rangle$  has a definite energy  $E_i$ . When you make an energy measurement and get some number  $E_i$ , you have found that the system was in state

$|\eta_i\rangle$ . But you may get a different number for each measurement. Sometimes you will get  $E_1$ , sometimes  $E_2$ , sometimes  $E_3$ , and so on. The *probability* that you observe the energy  $E_1$  is just the probability of finding the system in the state  $|\eta_1\rangle$ , which is, of course, just the absolute square of the amplitude  $C_1 = \langle \eta_1 | \psi \rangle$ . The probability of finding each of the possible energies  $E_i$  is

$$P_i = |C_i|^2. \quad (8)$$

The sum of all the energies is certainly just

$$N_1 E_1 + N_2 E_2 + N_3 E_3 + \dots = \sum_i N_i E_i \quad (9)$$

You can count up how many times you get  $E_1$ , say that is  $N_1$ , and then count up the number of times you get  $E_2$ , call that  $N_2$ , and so on.

The average energy is this sum divided by the total number of measurements which is just the sum of all the  $N_i$ 's, which we can call  $N$ .

$$E_{sr} = \frac{\sum_i N_i E_i}{N} \quad (10)$$

What we mean by the probability of something happening is just the number of times we expect it to happen divided by the total number of tries. The ratio  $\frac{N_i}{N}$  should – for large  $N$  – be very near to  $P_i$ , the probability of finding the state  $|\eta_i\rangle$ , although it will not be exactly  $P_i$  because of the statistical fluctuations. Let's write the predicted (or „expected“) average energy as  $\langle E \rangle_{av}$ ; then we can say that

$$\langle E \rangle_{av} = \sum_i P_i E_i \quad (11)$$

The same arguments apply for any measurement. The average value of a measured quantity  $A$  should be equal to

$$\langle A \rangle_{av} = \sum_i P_i A_i, \quad (12)$$

where  $A_i$  are the various possible values of the observed quantity, and  $P_i$  is the probability of getting that value.

Let's go back to our quantum-mechanical state  $|\psi\rangle$ . Its average energy is

$$\langle E \rangle_{av} = \sum_i |C_i|^2 E_i = \sum_i C_i^* C_i E_i \quad (13)$$

First, we write the sum as

$$\sum_i \langle \psi | \eta_i \rangle E_i \langle \eta_i | \psi \rangle \quad (14)$$

Next we treat the left-hand  $\langle \psi |$  as common „factor“. We can take this factor out of the sum, and write it as

$$\langle \psi | \left\{ \sum_i |\eta_i \rangle E_i \langle \eta_i | \psi \rangle \right\} . \quad (15)$$

This expression has the form

$$\langle \psi | \phi \rangle ,$$

where  $|\phi \rangle$  is some „cooked-up“ state defined by

$$|\phi \rangle = \sum_i |\eta_i \rangle E_i \langle \eta_i | \psi \rangle . \quad (16)$$

It is, in other words, the state you get if you take each base state  $|\eta_i \rangle$  in the amount

$E_i \langle \eta_i | \psi \rangle$ . Now remember what we mean by the states  $|\eta_i \rangle$ . They are supposed to be the stationary states – by which we mean that for each one,  $\hat{H}|\eta_i \rangle = E_i |\eta_i \rangle$ .

Since  $E_i$  is just a number, the right-hand side is the same as  $|\eta_i \rangle E_i$ , and the sum in Eq. (16) is the same as

$$\sum_i \hat{H} |\eta_i \rangle \langle \eta_i | \psi \rangle .$$

Now  $i$  appears only in the famous combination that contracts to unity, so

$$\sum_i \hat{H} |\eta_i \rangle \langle \eta_i | \psi \rangle = \hat{H} \sum_i |\eta_i \rangle \langle \eta_i | \psi \rangle = \hat{H} |\psi \rangle .$$

Equation (16) is the same as

$$|\phi \rangle = \hat{H} |\psi \rangle . \quad (17)$$

The average energy of the state  $|\psi \rangle$  can be written very prettily as

$$\langle E \rangle_{av} = \langle \psi | \hat{H} | \psi \rangle . \quad (18)$$

To get the average energy you operate on  $|\psi \rangle$  with  $\hat{H}$ , and then multiply by  $\langle \psi |$ .

Equation (18) says that for *any* set of base states  $|i \rangle$ , the average energy can be calculated from

$$\langle E \rangle_{sr} = \sum_{i,j} \langle \psi | i \rangle \langle i | \hat{H} | j \rangle \langle j | \psi \rangle \quad (19)$$

where the amplitudes  $\langle i | \hat{H} | j \rangle$  are just the elements of the matrix  $H_{ij}$ .

For the special case that the states  $|i\rangle$  are the definite energy states. For them,

$$\hat{H} | j \rangle = E_j | j \rangle, \text{ so } \langle i | \hat{H} | j \rangle = E_j \delta_{ij} \text{ and}$$

$$\langle E \rangle_{sr} = \sum_{i,j} \langle \psi | i \rangle E_i \delta_{ij} \langle j | \psi \rangle = \sum_i E_i \langle \psi | i \rangle \langle i | \psi \rangle$$

which is right.

If a physical observable  $A$  is related to a suitable quantummechanical operator  $\hat{A}$ , the average value of  $A$  for the state  $|\psi\rangle$  is given by

$$\langle A \rangle_{av} = \langle \psi | \hat{A} | \psi \rangle, \quad (20)$$

By this we mean that

$$\langle A \rangle_{av} = \langle \psi | \phi \rangle, \quad (21)$$

with

$$|\phi\rangle = \hat{A} |\psi\rangle. \quad (22)$$

We want the average energy of an atom in a state described by a wave function  $\psi(r)$ . We use the (19) Eq. to special coordinate representation case. For one – dimensional situation with a state  $|\psi\rangle$  defined by the amplitude  $\langle x | \psi \rangle = \psi(x)$ . We replace the states  $|i\rangle$  and  $|j\rangle$  by  $|x\rangle$  and  $|x'\rangle$ , and change the sum to integrals. We get

$$\langle E \rangle_{av} = \iint \langle \psi | x \rangle \langle x | \hat{H} | x' \rangle \langle x' | \psi \rangle dx dx'. \quad (23)$$

This integral can, if we wish, be written in the following way:

$$\int \langle \psi | x \rangle \langle x | \phi \rangle dx, \quad (24)$$

with

$$\langle x | \phi \rangle = \int \langle x | \hat{H} | x' \rangle \langle x' | \psi \rangle dx'. \quad (25)$$

Knowing that the time variation of each amplitude  $C_i$  is proportional to all of the other amplitudes  $C_j$ , with the coefficients  $H_{ij}$ :

$$i\hbar \frac{dC_i}{dt} = \sum_j H_{ij} C_j$$

what can be written as

$$i\hbar \frac{d}{dt} \langle i | \psi \rangle = \sum_j \langle i | \hat{H} | j \rangle \langle j | \psi \rangle.$$

For the  $x$  – representation we would expect

$$i\hbar \frac{d}{dt} \langle x | \psi \rangle = \int \langle x | \hat{H} | x' \rangle \langle x' | \psi \rangle dx'$$

Since  $\langle x | \hat{H} | x' \rangle$  should be some function of  $x$  and  $x'$ , we can write it as  $H(x, x')$

$$i\hbar \frac{d}{dt} \psi(x) = \int H(x, x') \psi(x') dx',$$

with

$$H(x, x') \equiv \langle x | \hat{H} | x' \rangle.$$

The rate of change of the  $\psi$  at  $x$  would depend on the value of  $\psi$  at all other points  $x'$ ; the factor  $H(x, x')$  is the amplitude per unit time that the electron will jump from  $x'$  to  $x$ .

For a particle moving freely in space with no forces, no disturbances, the correct law of physics is

$$\int H(x, x') \psi(x') dx' = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \psi(x)$$

or

$$\int H(x, x') \psi(x') dx' = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \psi(x) + V(x) \psi(x).$$

It is the Schrödinger equation, where  $V(x)$  is scalar potential, which describes electric forces.

We can therefore write Eq. (25):

$$\langle x | \phi \rangle = \left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right\} \psi(x). \quad (26)$$

Remember that  $\langle \psi | x \rangle = \langle x | \psi \rangle^* = \psi^*(x)$ ; using this equality, the average energy in Eq. (23) can be written as

$$\langle E \rangle_{av} = \int \psi^*(x) \left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V \right\} \psi(x) dx. \quad (27)$$

The quantity in the braces of Eq. (27) is an *algebraic* operator. We will write it as

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V$$

With this notation Eq. (23) becomes

$$\langle E \rangle_{av} = \int \psi^*(x) \hat{H} \psi(x) dx \quad (28)$$

and

$$\int |\psi(x)|^2 dx = 1 \text{ - the probability of finding the electron somewhere.}$$

You can easily extend the derivation to three dimensions. The result is that:

$$\langle E \rangle_{av} = \int \psi^*(r) \hat{H} \psi(r) dV, \quad (29)$$

with

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(r) \quad (30)$$

and with the understanding that

$$\int |\psi|^2 dV = 1. \quad (31)$$

With Eq. (29) we can calculate the average energy of an atomic state.

The average value of the position of an electron in an atom (by keep measuring  $x$  over and over again) is

$$\int x P(x) dx$$

where  $P(x)dx$  is the probability of finding the electron in a little element  $dx$  at  $x$ .

Knowing that  $P(x) = |\psi(x)|^2 = \psi^*(x)\psi(x)$ , so we can write the average of  $x$  as

$$\langle x \rangle_{av} = \int \psi^*(x) x \psi(x) dx \quad (32)$$

Suppose we just write

$$\langle x \rangle_{av} = \langle \psi | \alpha \rangle, \quad (33)$$

$$\text{with } |\alpha\rangle = \hat{x} |\psi\rangle. \quad (34)$$

We must find a  $|\alpha\rangle$ , so that

$$\langle \psi | \alpha \rangle = \langle x \rangle_{av} = \int \langle \psi | x \rangle x \langle x | \psi \rangle dx. \quad (35)$$

Let's expand  $\langle \psi | \alpha \rangle$  in the  $x$  - representation. It is

$$\langle \psi | \alpha \rangle = \int \langle \psi | x \rangle \langle x | \alpha \rangle dx. \quad (36)$$

Now compare the integrals in the last two equations. You see that in the  $x$  - representation

$$\langle x | \alpha \rangle = x \langle x | \psi \rangle. \quad (37)$$

Operating on  $|\psi\rangle$  with  $\hat{x}$  to get  $|\alpha\rangle$  is equivalent to multiplying  $\psi(x)=\langle x|\psi\rangle$  by  $x$  to get  $\alpha(x)=\langle x|\alpha\rangle$ . We have a definition of  $\hat{x}$  in the coordinate representation.

The average momentum of electron is

$$\langle p \rangle_{av} = \int pP(p)dp \quad (38)$$

where

$P(p)dp$  is the probability that a measurement will give a momentum between  $p$  and  $p+dp$ .

Now we let  $\langle p|\psi\rangle$  be the amplitude that the state  $|\psi\rangle$  is in a definite momentum state  $|p\rangle$ .

$$\text{If } P(p) = \frac{1}{2\pi\hbar} |\langle p|\psi\rangle|^2 \quad (39)$$

We have then

$$\langle p \rangle_{av} = \int \langle \psi|p\rangle p \langle p|\psi\rangle \frac{dp}{2\pi\hbar} \quad (40)$$

$$\int \langle \psi|p\rangle \langle p|\beta\rangle \frac{dp}{2\pi\hbar} \quad (41)$$

You should now recognize this equation as just the expanded form of the amplitude  $\langle \psi|\beta\rangle$  - expanded in terms of the base states of definite momentum. From Eq. (40) the state  $|\beta\rangle$  is defined in the momentum representation by

$$\langle p|\beta\rangle = p \langle p|\psi\rangle, \quad (42)$$

that is, we can now write

$$\langle p \rangle_{av} = \langle \psi|\beta\rangle, \quad (43)$$

with

$$|\beta\rangle = \hat{p}|\psi\rangle, \quad (44)$$

where the operator  $\hat{p}$  is defined in term of the  $p$  - representation by Eq. (42).

If we are given a description of the state in the  $x$  - representation (it means that we know the wave function  $\psi(x)=\langle x|\psi\rangle$ ). Let's start by expanding Eq. (43) in the  $x$  - representation. It is

$$\langle p \rangle_{av} = \int \langle \psi|x\rangle \langle x|\beta\rangle dx \quad (45)$$

So our problem is to find the function  $\beta(x)=\langle x|\beta\rangle$  - state  $|\beta\rangle$  in the  $x$ -representation.

Knowing that

$$\langle p|\beta\rangle=\int e^{-ipx/\hbar}\langle x|\beta\rangle dx \quad (46)$$

we can solve this equation for  $\langle x|\beta\rangle$ .

Suppose we start with Eq. (42) and again use Eq. (46) to write

$$\langle p|\beta\rangle=p\langle p|\psi\rangle=p\int e^{-ipx/\hbar}\psi(x)dx, \quad (47)$$

where  $\psi(x)=\langle x|\beta\rangle$ .

$$\langle p|\beta\rangle=\int e^{-ipx/\hbar} p\psi(x)dx=-\frac{\hbar}{i}\int\frac{d}{dx}(e^{-ipx/\hbar})\psi(x)dx. \quad (48)$$

If we integrate by parts, it becomes

$$-\frac{\hbar}{i}[e^{-ipx/\hbar}\psi(x)]_{-\infty}^{+\infty}+\frac{\hbar}{i}\int e^{-ipx/\hbar}\frac{d\psi}{dx}dx.$$

So long as we are considering bound states, so that  $\psi(x)$  goes to zero at  $x\rightarrow\pm\infty$ , the bracket is zero and we have

$$\langle p|\beta\rangle=\frac{\hbar}{i}\int e^{-ipx/\hbar}\frac{d\psi}{dx}dx \quad (49)$$

You see that

$$\langle x|\beta\rangle=\frac{\hbar}{i}\frac{d}{dx}\psi(x) \quad (50)$$

We have the necessary piece to be able to complete Eq. (45). The answer is

$$\langle p\rangle_{av}=\int\psi^*(x)\frac{\hbar}{i}\frac{d}{dx}\psi(x)dx \quad (51)$$

Now you should begin to see an interesting pattern developing. When we asked for the average energy of the state  $|\psi\rangle$  we said it was

$$\langle E\rangle_{av}=\langle\psi|\phi\rangle, \text{ with } |\phi\rangle=\hat{H}|\psi\rangle$$

The same thing is written in the coordinate world as

$$\langle E\rangle_{av}=\int\psi^*(x)\phi(x)dx, \text{ with } \phi(x)=\hat{H}\psi(x).$$

Here  $\hat{H}$  is an *algebraic* operator which works a function of  $x$ . When we asked about the average value of  $x$ , we found that it could also be written

$$\langle x\rangle_{av}=\langle\psi|\alpha\rangle, \text{ with } |\alpha\rangle=\hat{x}|\psi\rangle.$$

In the coordinate world the corresponding equations are

$$\langle x \rangle_{av} = \int \psi^*(x) \alpha(x) dx, \text{ with } \alpha(x) = x\psi(x).$$

When we asked about the average value of  $p$ , we wrote

$$\langle p \rangle_{av} = \langle \psi | \beta \rangle, \text{ with } |\beta\rangle = \hat{p}|\psi\rangle.$$

In the coordinate world the equivalent equations were

$$\langle p \rangle_{av} = \int \psi(x) \beta(x) dx, \text{ with } \beta(x) = \frac{\hbar}{i} \frac{d}{dx} \psi(x).$$

In each of our three examples we start with the state  $|\psi\rangle$  and produce another (hypothetical) state by a *quantum-mechanical* operator. In the coordinate representation we generate the corresponding wave function by operating on the wave function  $\psi(x)$  with an *algebraic* operator. There are the following one-to-one correspondences (for one-dimensional problems):

$$\hat{H} \rightarrow \hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x),$$

$$\hat{x} \rightarrow x,$$

$$\hat{p}_x \rightarrow \hat{P}_x = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}.$$

For three dimensions we have:

Physical Quantity	Operator	Coordinate Form
Energy	$\hat{H}$	$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(r)$
Position	$\hat{x}$	$x$
	$\hat{y}$	$y$
	$\hat{z}$	$z$
Momentum	$\hat{p}_x$	$\hat{P}_x = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}$
	$\hat{p}_y$	$\hat{P}_y = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial y}$
	$\hat{p}_z$	$\hat{P}_z = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial z}$

If any two operators  $\hat{A}$  and  $\hat{B}$ , when taken together like this:

$$\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A},$$

do not give zero, we say that „the operators do not commute.”

For example: let's work  $\hat{x}\hat{p}_x - \hat{p}_x\hat{x}$  out in the  $x$  – representation. So that we'll know what we are doing we put in some wave function  $\psi(x)$ . We have

$$x\hat{P}_x\psi(x) - \hat{P}_x x\psi(x),$$

or

$$x\frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x}\psi(x) - \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x}x\psi(x).$$

Remember now that the derivatives operate on everything to the right. We get

$$x\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial x} - \frac{\hbar}{i}\psi(x) - \frac{\hbar}{i}x\frac{\partial\psi}{\partial x} = -\frac{\hbar}{i}\psi(x). \quad (52)$$

The answer is not zero. The whole operation is equivalent simply to multiplication by

$$-\frac{\hbar}{i}:$$

$$\hat{x}\hat{p}_x - \hat{p}_x\hat{x} = -\frac{\hbar}{i}. \quad (53)$$

This equation is called a „commutation rule.”

Knowing that the state  $|\psi\rangle$  might be changing with time. The rate of change of

$$\langle A \rangle_{av}$$

$$\text{where } \langle A \rangle_{av} = \langle \psi | \hat{A} | \psi \rangle \quad (54)$$

is given by a new operator we will call  $\hat{A}$ , which is defined by

$$\frac{d}{dt}\langle A \rangle_{av} = \langle \psi | \hat{A} | \psi \rangle. \quad (55)$$

We know that the rate of change of a state is given by the Hamiltonian.

Specifically,

$$i\hbar \frac{d}{dt}|\psi(t)\rangle = \hat{H}|\psi(t)\rangle. \quad (56)$$

If we take the complex conjugate of this equation, it is equivalent to

$$-i\hbar \frac{d}{dt}\langle \psi(t) | = \langle \psi(t) | \hat{H}. \quad (57)$$

If we take the derivatives with respect to  $t$  of Eq. (54), we have

$$\frac{d}{dt}\langle A \rangle_{av} = \left( \frac{d}{dt} \langle \psi | \right) \hat{A} | \psi \rangle + \langle \psi | \hat{A} \left( \frac{d}{dt} | \psi \rangle \right). \quad (58)$$

Using the two equations in (56) and (57) to replace the derivatives, we get

$$\frac{d}{dt}\langle A \rangle_{av} = \frac{i}{\hbar} [\langle \psi | \hat{H} \hat{A} | \psi \rangle - \langle \psi | \hat{A} \hat{H} | \psi \rangle] \quad (59)$$

$$\frac{d}{dt}\langle A \rangle_{av} = \frac{i}{\hbar} \langle \psi | (\hat{H} \hat{A} - \hat{A} \hat{H}) | \psi \rangle. \quad (60)$$

Comparing this equation with Eq. (55), you see that

$$\hat{A} = \frac{i}{\hbar} (\hat{H} \hat{A} - \hat{A} \hat{H}). \quad (61)$$

It is true for any operator  $\hat{A}$ .

Incidentally, if the operator  $\hat{A}$  should itself be time dependent, we would have had

$$\hat{A} = \frac{i}{\hbar} (\hat{H} \hat{A} - \hat{A} \hat{H}) + \frac{\partial \hat{A}}{\partial t}. \quad (62)$$

Let us try out Eq. (61) on some example to see whether it really makes sense. For instance, what operator corresponds to  $\hat{x}$ ? We say it should be

$$\hat{x} = \frac{i}{\hbar} (\hat{H} \hat{x} - \hat{x} \hat{H}). \quad (63)$$

In this representation the commutator is

$$\hat{H} x - x \hat{H} = \left\{ \frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right\} x - x \left\{ \frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right\}.$$

If you operate with this on any wave function  $\psi(x)$  and work out all of the derivatives where you can, you end up after a little work with

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d\psi}{dx}.$$

But this is just the same as

$$-i \frac{\hbar}{m} \hat{P}_x \psi,$$

so we find that

$$\hat{H} \hat{x} - \hat{x} \hat{H} = -i \frac{\hbar}{m} p_x \quad (64)$$

or that

$$\dot{x} = \frac{\hat{p}_x}{m}. \quad (65)$$

It means that if the mean value of  $x$  is changing with time the drift of the center of gravity is the same as the mean momentum divided by  $m$ . Exactly like classical mechanics.

What is the rate of change of the average momentum of a state? Its operator is

$$\hat{p} = \frac{i}{\hbar} (\hat{H} \hat{p} - \hat{p} \hat{H}). \quad (66)$$

You can work it out in the  $x$  representation. Remember that  $\hat{p}$  becomes  $\frac{d}{dx}$ , and this means that you will be taking the derivative of the potential energy  $V$  (in the  $\hat{H}$ ) – but only in the second term which does not cancel, and you find that

$$\hat{H} \hat{p} - \hat{p} \hat{H} = -i\hbar \frac{dV}{dx}$$

or that

$$\hat{p} = -\frac{dV}{dx}. \quad (67)$$

The right – hand side is the force, so we have derived Newton’s law. But remember – these are the laws for the *operators* which give the average quantities. They do not describe what goes on in detail inside an atom.

Quantum mechanics has the essential difference that  $\hat{p}\hat{x}$  is not equal to  $\hat{x}\hat{p}$ . They differ by a little bit – by the small number  $\hbar$ . But the whole wondrous complications of interference, waves, and all, results from the little fact that  $\hat{x}\hat{p} - \hat{p}\hat{x}$  is not quite zero.

In 1926 Heisenberg and Schrödinger independently found correct laws to describe atomic mechanics. Schrödinger invented his wave function  $\psi(x)$  and found his equation. Heisenberg, on the other hand, found that nature could be described by classical equations, except that  $xp - px$  should be equal to  $\hbar/i$ , which he could make happen by defining them in terms of special kinds of matrices. He was using the energy-representation, with its matrices. Both Heisenberg’s and Schrödinger’s differential equation explained the hydrogen atom. A few months later Schrödinger was able to show that the two theories were equivalent. [5]

The model of the dualism of light can be transferred to other particles, e.g. electrons, because a physical mass can be associated with the photons energy, according

to the relation  $E=mc^2$ . An electron of mass  $m_e$  has a negative charge of  $q=-e$ . Both of these values can be measured experimentally.

If the electron is in motion it shows a kinetic energy of  $E=\frac{mv^2}{2}$ . Starting from the classical model such an electron would travel along with velocity  $v$  and momentum  $p=mv$ . (As we focus on the one - dimensional case we use scalar values instead of vector notation.) The action of this process is given by

$$\mathfrak{K} = mv \cdot x, \quad (68)$$

which should increase continuously with  $x$ . But because action is quantized, it increases in abrupt steps, which results in an abruptly changing velocity  $v$  and also in sudden changes of the electron energy. This contradiction is resolved by giving up the classical model of a continuous trajectory and moving on to quantum mechanics. According to this theory the electron is described by successive quantum – mechanical states, which represent a certain probability that the particle may be located in a specific spatial region.

These measures of probability can be calculated from the wave function  $\Psi$  that results from the solutions of a partial differential equation called the Schrödinger equation

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + V(x) \cdot \psi(x) = E \cdot \psi(x), \quad (69)$$

where  $V(x)$  is a given potential function and  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ . Considering that  $V(x)$  is the Coulomb potential of a charged nucleus, e.g. of a hydrogen atom, we can calculate the wavefunctions  $\psi$  by solving (69). This wave representation describes the behavior of the hydrogen atom more appropriately than well-known model postulated by Bohr in the 1930s, which involves electrons orbiting the nucleus.

If the boundary conditions change in time we have to apply the time-dependent Schrödinger equation

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x,t)}{dx^2} + V(x,t) \cdot \psi(x,t) = j\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t}. \quad (70)$$

According to the simple case of  $V(x)=0$  (70) is solved by the complex wavefunction

$$\psi = A \cdot \exp(j[kx - \omega t]). \quad (71)$$

The wave vector  $k$  is often used instead of the wavelength  $\lambda$  to characterize waves.

The probability  $P$  of finding the particle in a specific spatial region is defined by  $\psi^* \cdot \psi$ , or  $|\psi|^2$ , respectively. If we are considering the three-dimensional case we have to perform an integration over the volume  $V$

$$P = C \cdot \int_V \psi^* \psi dV . \quad (72)$$

This equation reduces to a line integral over  $x$  for the one-dimensional case. The normalization constant  $C$  has to ensure that the integral over the entire possible space results in  $P = 1$ , because the probability of finding the particle somewhere in this region must be unity.

This interpretation of  $|\psi|^2$  suggests the introduction the term information. The information delivered by a measuring process is inversely proportional to the probability of localizing a particle in the observation space.

The wavelength of  $\psi$  follows directly from the quantization if we assume that  $\hbar = h$  and  $x = \lambda$  in (68):

$$\lambda = \frac{h}{mv} ,$$

and for the particle momentum

$$p = \frac{h}{\lambda} . \quad (73)$$

The wavelength  $\lambda$  depends on the propagation velocity  $v$ , and hence on the frequency  $f$ , which is often written as  $\nu$ . The higher the momentum  $p$  or the kinetic energy of the particle, the shorter the wavelength  $\lambda$  of the material wave. The kinetic energy of the particle is given by

$$E = \frac{h^2}{2m} \frac{1}{\lambda^2} = \frac{\hbar^2}{2m} k^2 . \quad (74)$$

For an energy value of 1eV, which is typical for switching elements, the characteristic wavelength is 1.2nm. The dimensions of nanoelectronic devices are in the same order of magnitude.

Another important relation that derives heuristically from the model described above is Heisenberg's uncertainty principle: The higher the momentum  $p$ , the shorter the wavelength  $\lambda$ , because from (73) we get

$$\frac{\lambda}{2} \cdot mv = \frac{h}{2} . \quad (75)$$

This relation is also valid for differences of impulse and location. Assuming that

$\frac{\lambda}{2} = \Delta x$  and  $m \cdot \Delta v = \Delta p$  we obtain the uncertainty relation:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2}. \quad (76)$$

By extending the expression on the left side we get the alternative formulation

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2}. \quad (77)$$

The uncertainty principle denotes that the location or the momentum of a particle, and its energy or its time of observation can only be determined imprecisely. This statement is very important if we are considering nanoelectronic applications, because the dimensions of such devices are so small that we can use the uncertainty principle to roughly estimate the relevant nanoelectronic effects, for example the tunneling effect, which is using in STM (scanning tunneling microscope). The principle of such a microscope is simple. A movable tip made of metal approaches a surface under vacuum conditions, until a tunnel current is recognized. The distance to the surface is controlled by this tunnel current. If the current is maintained constant, then the surface structure can be determined by measuring the tip position. In practice the distance is controlled by a piezoelectric element and the measuring tip can also be moved laterally by additional voltages, so that very small regions of a material sample can be scanned. The STM can also be utilized to write physical structures. By taking appropriate steps, the measurement tip can pick up single atoms and reinsert them in another position (atomic force microscope, AFM). In this way complete lines or characters have been written with atoms. The final objective of this technology is to deposit atoms at specified positions on a surface or in a crystal.

Fig. depicts the simple case of one-dimensional potential well of length  $L$  that is enclosed by infinite potential walls. Because the electron is freely moving inside the well, its energy is given by

$$E = \frac{h^2}{2m} k^2. \quad (78)$$

However, the particle is reflected at the barrier positions  $x = 0$  and  $x = L$ , thus stationary waves build up inside the well. A standing wave can only exist if the length  $L$  of the potential well equals a multiple of  $\frac{\lambda}{2}$ . All other possible wave instances will

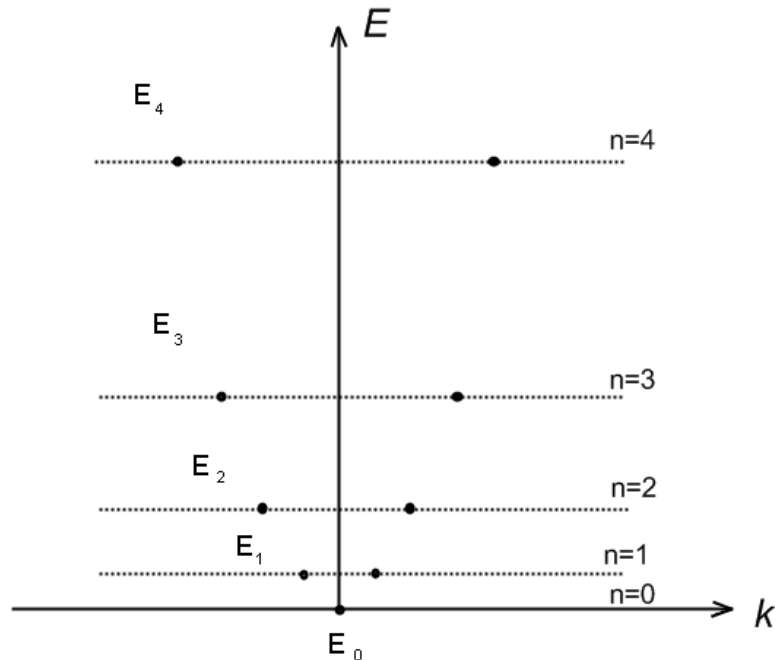
vanish due to destructive interferences. The stationary waves are described by the solutions of Schrödinger's equation

$$\psi = \left(\frac{2}{L}\right) \sin \frac{n\pi x}{L} \quad \text{with } n = 0, 1, 2 \dots \quad (79)$$

This solution show that an electron can never be located at the wall, because the wavefunctions always vanish at these specific locations. This condition results in the fact that the particle can only assume discrete energy values

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8nL^2} = \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi} n\omega_1. \quad (80)$$

This result is generally represented by so-called band diagram, or energy diagram  $W = f(k)$ . In this special case the energy band mentioned above consists only of this discrete values. The number of these energy values can be determined by the length  $L$ . The smaller the length of the potential well, the higher the energy  $W_n$ , which can also be written as a function of the factor  $n$  and the fundamental oscillation frequency  $\omega_1$ . The discretization of energy values plays an important role in nanoelectronics and should not be confused with the quantization of charge that leads to the Coulomb blockade described above.



*Fig.2. The discrete energy states of an electron in a potential well. The eigenvalues lie on a parabolic curve.*

A fundamental structure of nanoelectronics is the potential well enclosed by finite walls. Because of the complex boundary conditions we obtain a slightly different solution. An essential aspect of this structure is the fact that the wave amplitude inside the potential barrier is not vanishing but exponentially decreasing. The same effect can be found by observing quantum – mechanical tunneling, which plays an important role in nanoelectronic switching elements, e.g. tunnel diodes.

The band diagram of a semiconductor depends on its crystal structure and on the material wavefunction of the electrons. The band diagram reveals the energy levels that can be occupied. The density of states of these levels depend on the size of the crystal. An extensive three – dimensional body produces a three – dimensional k – space. The energy  $E$  of the electrons can be derived from solid – states physics as:

$$E = \frac{\hbar^2}{2m} (k_x^2 + k_y^2 + k_z^2) = \frac{\hbar^2}{2m} |k|^2. \quad (81)$$

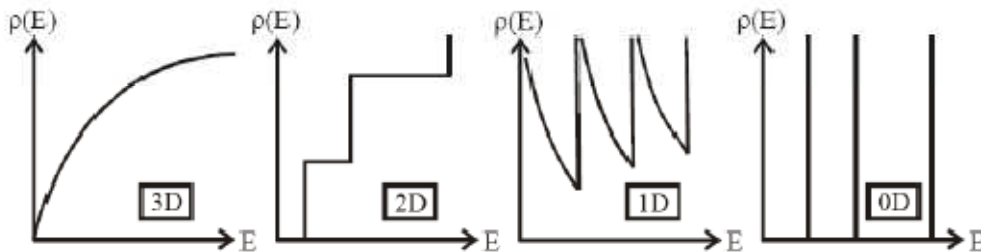
With respect to the three - dimensional k – space the possible states can be expressed as:

$$S = \frac{V_T}{\pi^2} \frac{1}{3} \left( \frac{2mE}{\hbar^2} \right)^{3/2}. \quad (82)$$

The density of states follows as:

$$\frac{dS}{dE} = \sqrt{2} \frac{V_T}{\pi^2} \frac{m^{3/2}}{\hbar^3} \sqrt{E}. \quad (83)$$

The density of states is proportional to the square root of the energy of the electrons. This function describes the well – known Boltzmann relation of classical physics (Fig.3.)



*Fig.3. Density of states of quantum structures with different dimensions: normal solid – state body, quantum well, quantum wire, and quantum dot. The grid of the steps depends on the size of the quantum structure.*

The three – dimensional relatively large ashlar (3D potential well) has a steady  $\sqrt{E}$  characteristic for the density of states, whereas the density of states characteristics becomes discontinuous if at least a single dimension is scaled down to the domain of the material wavelength of an electron. This leads to quantum layers (2D potential well) and appears, e.g. in the inversion layer of a MOS transistor. Further steps lead to the quantum wire (1D potential well) and quantum dot (0D potential well).

An electron space that is limited in one direction leaves an unlimited two – dimensional  $k$  – space for the electron. In this case of a quantum layer the energy of the particle is:

$$E = \frac{\hbar^2}{2m} (k_x^2 + k_y^2) + E_i. \quad (84)$$

Along the reduced dimension only states that much with the wavelength of the electrons can appear. Therefore, discrete energy levels  $E_i$  appear. Because of the two – dimensional  $k$  – space the density of states  $S$  is directly proportional to  $E$ . If this expression is derived to  $E$ ,  $\frac{dS}{dE}$  is independent of the energy (Fig.3.).

A further step leads to the so – called quantum wire, which leaves only one dimension of freedom to the electron. Consequently, the energy can be expressed as:

$$E = \frac{\hbar^2}{2m} (k_x^2) + E_{im}. \quad (85)$$

Under these conditions the density of states is for the one – dimensional  $k$  – space inversely proportional to the square root of the energy.

A restriction of all three conditions only discrete energy levels can appear:

$$E = E_{imm}. \quad (86)$$

In this case the diagram of the density of states shows only discrete lines, similar to a hydrogen atom or a molecule.

An interesting nanoelectronic problem is the storage of a charge package that is as small as possible on a very small capacitor. Since the amount of charge  $Q$  is quantized, it consists of  $n$  elementary charges  $q$ . From Coulomb's law we can write the energy stored in the capacitor as

$$W = \frac{1}{2} \frac{(nq)^2}{C}. \quad (87)$$

Thus the energy  $W$  on the capacitor is increased by minimizing the capacity  $C$ . This effect can be reached by reducing the capacitor dimensions to the nanometer scale. If

additional elementary charges  $q$  are applied to the capacitor by using a tunnel element, the stored energy of the capacitor increases abruptly stepwise. The so – called Coulomb blockade is based on this effect. Assuming that the potential of a very small capacitor is below the potential of a charge source, an electron can only flow from source to the capacitor if the potential on the capacitor after the transition is still below the source potential. Otherwise the process would not obey the principle of energy balance. The single electron transistor uses this effect.

To explain the Coulomb blockade we take the capacitor which is located on the right side of a tunneling element and has a very small capacitance due to its very small dimensions. The energy level of electrons within the capacitor can be adjusted by an external gate voltage  $V_G$ .

Electrons can tunnel from the right side of the barrier to its left side as long as the energy level on the right side remains lower than on the other side. If this is not the case, the electrons get blocked by the Coulomb blockade, since the charge of single electron would cause an increase of the energy level. This remarkable increase is due to the very small capacitance of the capacitor. Electrons can only tunnel if the energy balance is positive after tunneling. This effect can be explained within the boundaries of classical physics by Coulomb's law, however, it assumes the quantization of the electrical charge. The tunneling element is needed for a galvanic isolation, but it nevertheless offers a voltage – controlled tunneling probability.

The total energy  $E$  depends on the amount of charge on the capacitor and on the electrical potential  $V$ . The energy of a capacitor  $C$  that is charged with  $n$  electrons is equivalent to:

$$E_n = \frac{1}{2} \frac{n^2 q^2}{C}. \quad (88)$$

The energy difference on the capacitor  $C$  for the two charge situations of  $n$  and  $n + 1$  electrons corresponds to:

$$E_{n+1} - E_n = \frac{q^2}{2C} (2n + 1). \quad (89)$$

An electron can only pass through the barrier via tunneling if this energy difference is less than or equal to the energy of an electron. The energy of an electron can be expressed as:

$$E = qV. \quad (90)$$

This implies that the voltage  $V$  should not exceed the following value:

$$V = \frac{q(2n+1)}{2C}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (91)$$

For the normalized voltage the location of the steps is equivalent to:

$$\frac{VC}{q} = \frac{1}{2}(2n+1). \quad (92)$$

According to  $n = \frac{Q}{q} = 0, 1, 2, 3, \dots$  reveals the stair function: Each step originates

from the tunneling of a further electron onto the capacitor. If the capacitor is scaled down towards a quantum dot, distinct energy levels arise due to the de Broglie waves of the electron. This effect of quantum confinement goes beyond the Coulomb blockade. [8]

### 3.3 Pedagogical papers analysis

We can divide the literature for the following group:

Literature about the thinking and problems of thinking:

- MALIM T., BIRCH A. *Introductory psychology*, Macmillan Press, UK 1998;
- BIRREN J.E., SCHAIK K. W. *Handbook of the psychology of aging*, Academic Press, London 1996;
- NOWACKI T. *Elementy Psychologii*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo 1971;
- RUBINSZTEJN S. L. *Podstawy psychologii ogólnej*, Książka i Wiedza 1964;
- PIAGET, Jean „*Studia z psychologii dziecka*”; Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006;
- PLOTNIK R., MOLLENAUER S. *Introduction to Psychology*, Random House, New York 1986;
- BRUNER J. S. *Poza dostarczone informacje : studia z psychologii poznania*, [tł. z ang. Barbara Mroziak]. - Warszawa : Państw. Wydaw. Naukowe, 1978;
- BRUNER J. S. *O poznawaniu : szkice na lewą rękę*. - Warszawa, 1971;
- KWIECIŃSKI, Zbigniew, ŚLIWERSKI, Bogusław *Pedagogika 2 (podręcznik akademicki)*; Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003;

These titles show that the introduction of nanotechnology contents of teaching is possible only on the abstract thinking level (above 11 – 12 years old).

Literature about the theory of teaching:

- BRUNER J. *Proces kształcenia*, tł. [z ang.] Józef Radzicki ; postł. opatrzył Konstanty Lech. – Warszawa, Państw. Wydaw Naukowe, 1964;
- BRUNER J. S. *W poszukiwaniu teorii nauczania*; przeł. [z ang.] Ewa Krasieńska ; przedm. Krzysztof Kruszewski. – Warszawa, Państw. Instytut Wydawniczy, 1974;
- MILISZKIEWICZ, Janina: *Przykład koncepcji badań nad programowanym nauczaniem fizyki*, Zeszyty Naukowe Wydziału Matematyki, Fizyki, Chemii "Problemy Dydaktyki Fizyki" Uniwersytetu Gdańskiego, nr 1 , 1973;
- ZACZYŃSKI W. *Praca badawcza nauczyciela*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1995;

These titles show how one can introducing new elements to the core curriculum, in what way it will be correct with regard to the methodological way.

Literature about the nanotechnology area (examples):

- Drexler, K. E. (1999) Building molecular machine systems. Trends in Biotechnology, 17: 5-7;
- Drexler, K. E. (1996) Molecular manufacturing: a future technology for cleaner production. Clean Production: Environmental and Economic Perspectives. New York: Springer;
- Drexler, K. E. (1995) Molecular manufacturing: perspectives on the ultimate limits of fabrication. Phil. Trans. R. Soc. London A (353:323-331);
- Drexler, K. E. (1994) Molecular machines: physical principles and implementation strategies. Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure (23:337-405);
- Drexler, K. E. (1992) Nanosystems Molecular Machinery, Manufacturing and Computation. New York: John Wiley & Sons;
- Drexler, K. E. (1992) Molecular Directions in Nanotechnology. Nanotechnology (2:113);
- Drexler K. E. (1991) Molecular Machinery and Manufacturing with Applications to Computation. MIT doctoral thesis;

- Drexler, K. E. (1991) Molecular tip arrays for molecular imaging and nanofabrication. *Journal of Vacuum Science and Technology-B*. 9:1394-1397;
- Drexler, K. E., C. Peterson, and G. Pergamit. (1991) *Unbouding the Future: The Nanotechnology Revolution*. New York: William Morrow;
- Drexler, K. E., and J. S. Foster. (1990) Synthetic tips. *Nature*. 343:600;
- Drexler, K. E. (1989) *Technologies of Danger and Wisdom. Directions and Implications of Advanced Computing*. Norwood, New Jersey: Ablex;
- Drexler, K. E. (1989) *Machines of Inner Space*. 1990 Yearbook of Science and the Future. Chicago: Encyclopedia Britannica;
- Drexler, K. E. (1989) *Biological and Nanomechanical Systems: Contrasts in Evolutionary Capacity*. *Artificial Life*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley;
- Drexler, K. E. (1988) Rod logic and thermal noise in the mechanical nanocomputer. *Molecular Electronic Devices*. Amsterdam: North-Holland;
- Drexler, K. E. (1988) Nanotechnology and future supercomputing. *Proceedings of the Third International Conference on Supercomputing*. International Supercomputing Institute;
- Miller, M. S., and K. E. Drexler. (1988) *Comparative Ecology: A Computational Perspective*. *The Ecology of Computation*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, B. V.;
- Miller, M. S., and K. E. Drexler. (1988) *Markets and Computation: Agoric Open Systems*. *The Ecology of Computation*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, B.V.;
- Drexler, K. E., and M. S. Miller. (1988) *Incentive Engineering for Computational Resource Management*. *The Ecology of Computation*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, B. V.;
- Drexler, K. E. (1987) *Nanomachinery: Atomically precise gears and bearings*. *IEEE Micro Robots and Teleoperators Workshop*. Hyannis, Massachusetts: IEEE.;
- Drexler, K. E. (1987) *Molecular Machinery and Molecular Electronic Devices*. *Molecular Electronic Devices II*. New York: Marcel Dekker;
- Drexler, K. E. (1986) *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. New York: Anchor Press/Doubleday;

- POOLE Ch. P., OWENS F. J. Introduction to Nanotechnology: Selected Topics, 400 pages (June 12, 2003), Publisher: John Wiley & Sons Inc.;
- Susan Greenfield, Tomorrow's People: How 21<sup>st</sup> Century Technology is Changing the way we think and feel, 304 pages (September 25, 2003), Publisher: Allen Lane;
- B. Bhushan, Springer Handbook of Nanotechnology, 1258 pages (January 15, 2004), Publisher: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K.;
- Glenn Fishbine, The Investor's Guide to Nanotechnology and Micromachines (Wiley Finance Editions), 272 pages (February 4, 2002), Publisher: John Wiley & Sons Inc.;
- ROUKES M. L. (Foreword), FRITZ S. (Compiler), Understanding Nanotechnology, 150 pages (May 1, 2003), Publisher: Imported Little, Brown USA titles;
- Richard A. L. Jones Soft Machines: Nanotechnology and Life, 238 pages (August 26, 2004), Publisher: Oxford University Press;
- MULHALL D. *Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics, Genetics and Artificial Intelligence Will Transform the World*, 300 pages (August 1, 2002), Publisher: Prometheus Bks., U.S.;
- B. C. Crandall, Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance, 226 pages (August 1, 1996), Publisher: The MIT Press;
- V. Balzani, Devices and Machines, 511 pages (February 20, 2003), Publisher: Wiley-VCH;
- G. L. Timp, Nanotechnology, 704 pages (February 28, 1999), Publisher: Springer-Verlag New York Inc.;
- Merkle, R. C. (1992). Risk assessment. In B. C. Crandall & J. Lewis (Eds.), Nanotechnology: Research and perspectives. Cambridge, MA: MIT Press;
- Merkle, R. C. (1994). Self replicating systems and low cost manufacturing. In M. E. Welland & J. K. Gimzewski (Eds.), The ultimate limits of fabrication and measurement. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer;
- Nano. The Emerging Science of Nanotechnology: Remaking the World - Molecule by Molecule Ed Regis – Nanotechnologia;
- Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology Edited by Hari Singh Nalwa, USA (Available in Print & Online Edition) ISBN: 1-58883-001-2;

- Handbook of Nanostructured Biomaterials and Their Applications in Nanobiotechnology Edited by Hari Singh Nalwa, USA ISBN: 1-58883-033-0;
- Molecular Nanoelectronics Edited by Mark Reed and Takhee Lee, USA ISBN: 1-5888-006-3;
- Handbook of Organic-Inorganic Hybrid Materials and Nanocomposites Edited by Hari Singh Nalwa, USA ISBN: 1-58883-011-X;
- Nanoclusters and Nanocrystals Edited by Hari Singh Nalwa, USA ISBN: 1-5888-017-9;
- Functional Nanomaterials Edited by E. Geckeler and Edward Rosenberg ISBN: 1-58883-067-5;
- Handbook of Theoretical and Computational Nanotechnology Edited by M. Rieth and W. Schommers, Germany ISBN: 1-58883-042-X;
- Handbook of Semiconductor Nanostructures and Nanodevices Edited by A. A. Balandin and K. L. Wang, USA ISBN:158883-073-X;
- Magnetic Nanostructures Edited by Hari Singh Nalwa, USA ISBN: 1-5888-000-4;
- Quantum Dots and Nanowires Edited by S. Bandopadhyay and H. S. Nalwa, USA ISBN: 1-5888-013-6;
- Synthesis, Functionalization and Surface Treatment of Nanoparticles Edited by M. I. Baraton, France ISBN: 1-5888-009-8;
- Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology Edited by Hari Singh Nalwa (Available in Print & Online Edition) ISBN: 1-58883-001-2;
- Encyclopedia of Sensors Edited by C. A. Grimes and E. C. Dickey (Print or Online Edition) ISBN: 1-58883-056-X;
- Handbook of Theoretical and Computational Nanotechnology Edited by M. Rieth and W. Schommers ISBN: 1-58883-042-X;
- Handbook of Luminescence, Display Materials and Devices Edited by H. S. Nalwa and L. S. Rohwer ISBN: 1-58883-010-1;
- Handbook of Polyelectrolytes and Their Applications Edited by S. Tripathy, J. Kumar and H. S. Nalwa ISBN: 1-58883-002-0;

- Handbook of Organic-Inorganic Hybrid Materials and Nanocomposites Edited by Hari Singh Nalwa, USA ISBN: 1-58883-011-X;
- Molecular Nanoelectronics Edited by Mark Reed and Takhee Lee ISBN: 1-5888-006-3;
- Handbook of Semiconductor Nanostructures and Nanodevices Edited by A. A. Balandin and K. L. Wang, USA ISBN:158883-073-X;
- Magnetic Nanostructures Edited by Hari Singh Nalwa, USA ISBN: 1-5888-000-4;
- Synthesis, Functionalization and Surface Treatment of Nanoparticles Edited by M. I. Baraton, France ISBN: 1-5888-009-8;
- Quantum Dots and Nanowires Edited by S. Bandopadhyay and H. S. Nalwa, USA ISBN: 1-5888-013-6;
- Nanoclusters and Nanocrystals Edited by Hari Singh Nalwa, USA ISBN: 1-5888-017-9;
- Adhesive Bonding in Photonics Assembly and Packaging Written by B. Yacobi and M. Hubert ISBN: 1-5888-019-5;
- Polymer Optical Fibers Edited by Hari Singh Nalwa, USA ISBN: 1-58883-012-8;
- Functional Nanomaterials Edited by E. Geckeler and Edward Rosenberg ISBN: 1-58883-067-5;
- Materiały VIII Seminarium: „Programy badań i kształcenie w inżynierii materiałowej”, Poznań – Będlewo 2002, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2002, s.31 – 50;
- Cempel C. (Zakład Wibroakustyki i Bio-Dynamiki Systemów, Politechnika Poznańska - Instytut Mechaniki Stosowanej), Nanonauka – Nanotechnologia; źródła i perspektywy, Nauka, Nr 3, 1999 ,pp 177 – 186;
- Cempel Czesław, Nanonauka – Nanotechnologia, Nauka i Przyszłość, maj 2000, Nr 5, pp 12- 14. (UAM);
- Barbacki A., Mikroskopia elektronowa, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2003;
- Jurczyk M., Nanomateriały. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2001;

- Jurczyk M. Jakubowicz J. Nanomateriały ceramiczne. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2004;
- Jurczyk M. Mechaniczna synteza. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2003;
- Władysław Przygocki, Andrzej Włochowicz, Fullereny i nanorurki. Własności i zastosowanie, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2001.

The number of titles from this area shows that the nanotechnology subject is a very topical issue. Nanotechnology makes fast progress and brings together various sciences. The numbers of titles in every area of sciences is the proof that this subject is very modern and popular and belongs to the most dynamically developing branches of science and technology. It lets me take up introducing essential basic elements from this area to the core curriculum. It means that knowledge about main contents from quantum mechanics is needed to understand microworld phenomena.

## **4. Experimental part**

### ***4.1 Present situation in schools***

General education system in Poland includes IV stages:

- 1<sup>st</sup> educational stage is primary school, 1 – 3 years, where science education is realized in early – school education;
- 2<sup>nd</sup> educational stage is primary school, 4 – 6 years, where science education is realized in a science subject;
- 3<sup>rd</sup> educational stage is junior high school, 1 – 3 years, where Physics is a separate subject;
- 4<sup>th</sup> educational stage is high school (secondary school: 1 – 3 years or vocational high school: 1 – 4 years), where Physics is a separate subject (ordinary level in 1 year, advanced level in 1 – 3(4) years). In accordance with new core curriculum (annex number 1) these pupils, who don't chose any science subject on an advanced level (since 2<sup>nd</sup> year) have science subject on an ordinary level.

In view of 3<sup>rd</sup> educational stage, where physic is a separate subject, the pupils are familiarized with classical physics with as many experiments as possible. In the 4<sup>th</sup> educational stage, there are astrophysics elements and the elements of modern physics on ordinary level (this is the addition to 3<sup>rd</sup> stage of education). However on the advanced level, there is a deep analysis of physics phenomena taught on the 3<sup>rd</sup> stage. Conducting experiments and measurements precisely, calculating and estimating values of numbers, revision of realised material is considered teacher's tasks on this level. There is a possibility to increase the use of mathematics, playing special attention to the qualifications and interests of pupils. Proposed implementation shows, that it is worth introducing the modern physics elements, using the guides, referring to the acquisition of pupils' skill of understanding and summarizing academic articles. With respect to the speed of technology changes, the examples should be represented adequately to situation.[26]

#### ***4.2 Changing project in teaching process***

Taking into account the core curriculum for science subject (annex number 1), research, carried out on introducing nanotechnology elements into school curriculum comprise physics on an ordinary and advanced level and also science on the 4th educational stage in Polish schools.

Doing research conceivably present situation in high schools, there was a survey (annex number 2) carried out among physics teachers to get acquainted with their opinions about introducing the elements of nanotechnology to high school curriculum.

We have obtained the following opinions:

1. To understand the microworld and the rules in it, the pupils should get acquainted with quantum mechanics concepts, for example: probability, wavefunction, tunnelling effect, Heisenberg uncertainty principle, matter wave, particle in quantum well.
2. The development of modern science will require, in the nearest future, talking over the following concepts: modern scanning microscopes (STM, AFM), heterostructures (3DEG, 2DEG,

1DEG, 0DEG), nanocircuits, carbon nanotubes and fullerenes. Description these concepts will educate young people, how important and useful discipline physics is. It will make these pupils aware, who aren't interested in physics, that this subject isn't only boring, science based on formulas and definitions, but it is always developing, doesn't stop in one point, it is worth devoting attention to.

3. With introducing new elements to the curriculum there should be some conditions fulfilled i.e.:

- provision of the sufficient number of physics hours in education;
- training teachers on the above topics.

*(These are opinion of physics teachers)*

In the table below there are results from the opinion survey for teachers (annex number 2). There are: the number of working years in teaching, the kind of school where they teach and there are concepts indicated by the teacher, which should be introduced to the curriculum of science subject in high school.

**Symbols:**

F – it should be introduced;

Fr – it should be introduce on the advanced level;

Fp – it should be introduce on the ordinary level;

P – it should be introduced to a science curriculum;

0 – „I have no idea”;

N – it shouldn't be introduced;

**Kind of school** (where the teacher being surveyed is working):

g – junior high school;

LO – secondary school;

LP – vocational secondary school;

T – vocational high school;

ZSZ – vocational school;

sw – college;

Tab.7. Results of survey (annex number 2) for teachers on introducing the terms related with nanotechnology to high school curriculum(time of survey: February/ March 2010).

No.	kind of school	work experience in teaching	Concepts										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	g	8	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	g	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	sw	7	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	P	P	P	P
4	LO, T, ZSZ	6	F	F	0	F	Fp	0	0	0	F	F	F
5	LO	2	Fr	F	0	Fp	Fr	0	F	Fp	Fp	Fp	Fp
6	ZSZ	19	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr,p,P	Fr	Fr,P	Fr	Fr,P	Fr,P	Fr,P
7	g, LO	2	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
8	g	16	F	N	F	F	F	F	F	N	N	N	N
9	LO	24	Fr	Fr,p	0	Fr	F	F	F	F	F	F	F
10	g	22	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
11	LO	20	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
12	LP, T	27	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
13	LO	28	Fp	Fr	Fr	Fr	Fp,r	Fr	Fp,r	Fp,r	Fp,r	Fp,r	Fp,r
14	g	26	F	F	F	F,P	F,P	F	F,P	F	F	F	F,P
15	g, LO	28	F	F	F	F	F	F	F	0	0	F	F
16	g	26	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
17	g	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	LO	22	F	N	F	F	F	N	F	F	F	F	F
19	g	5	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr
20	g	11	N	N	N	F	F	N	0	N	Fr	Fr	Fr
21	T	11	N	N	F	F	F	F	F	F	F	F	F
22	g	3	Fp	Fp	Fp	0	0	0	0	0	0	0	0
23	g	15	F	N	F	F	F	N	F	F	F	F	F
24	g	22	F	F	F	F	F	F	N	F	F	F	F
25	LO	12	N	N	N	F	F	N	0	0	0	N	N
26	g	36	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

*Meaning of concept's number:*

*1 – probability*

*2 – wavefunction*

*3 – tunnelling effect*

*4 – Heisenberg uncertainty principle*

*5 – matter wave*

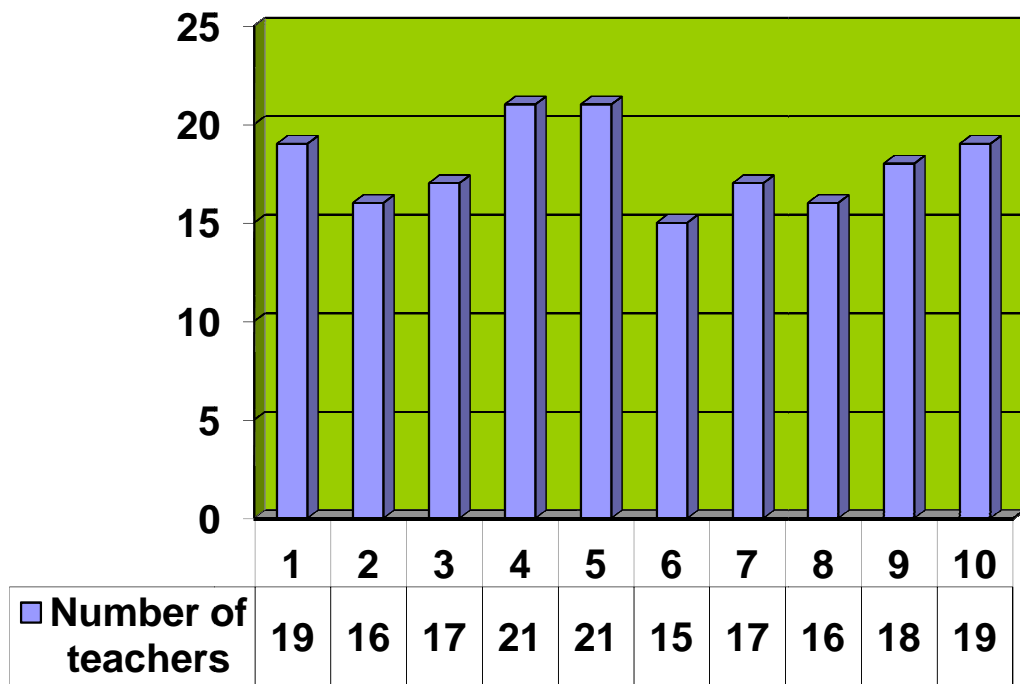
*6 – particle in quantum well*

*7 – modern scanning microscopes (STM, AFM)*

*8 – heterostructures (3DEG, 2DEG, 1DEG, 0DEG)*

*9 – nanocircuits*

*10 – carbon nanotubes and fullerenes.*



*Fig.4. How many teachers think that the concept should be introduce to the curriculum.*

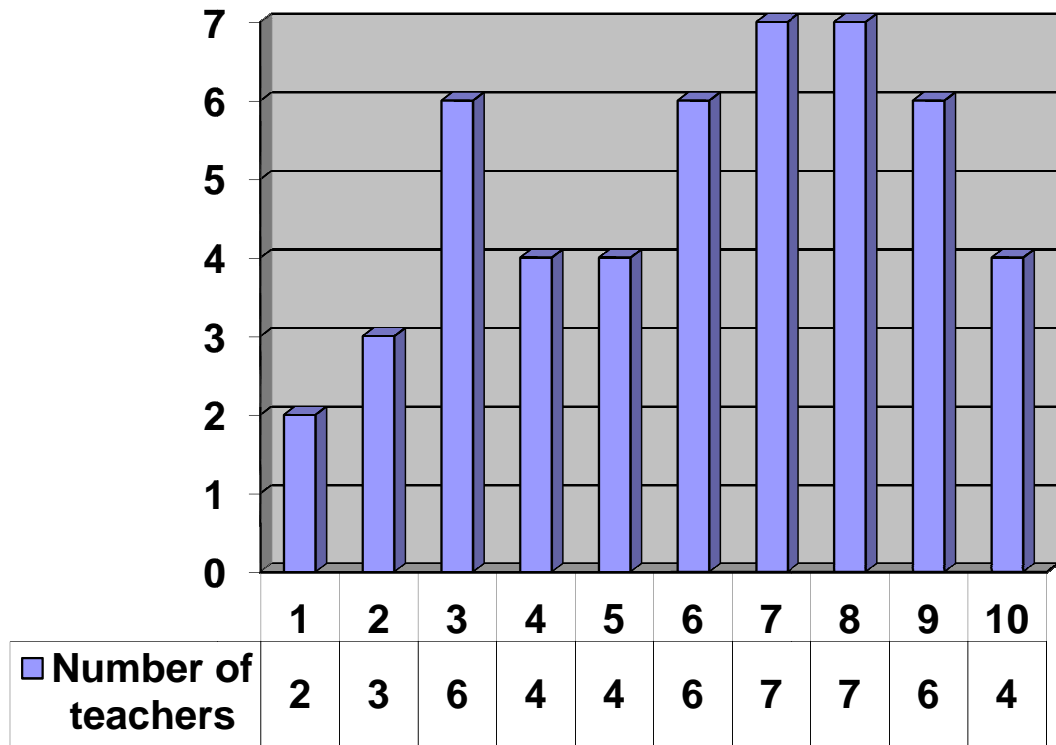


Fig.5. How many teachers have no idea about introduction the concept to the curriculum.

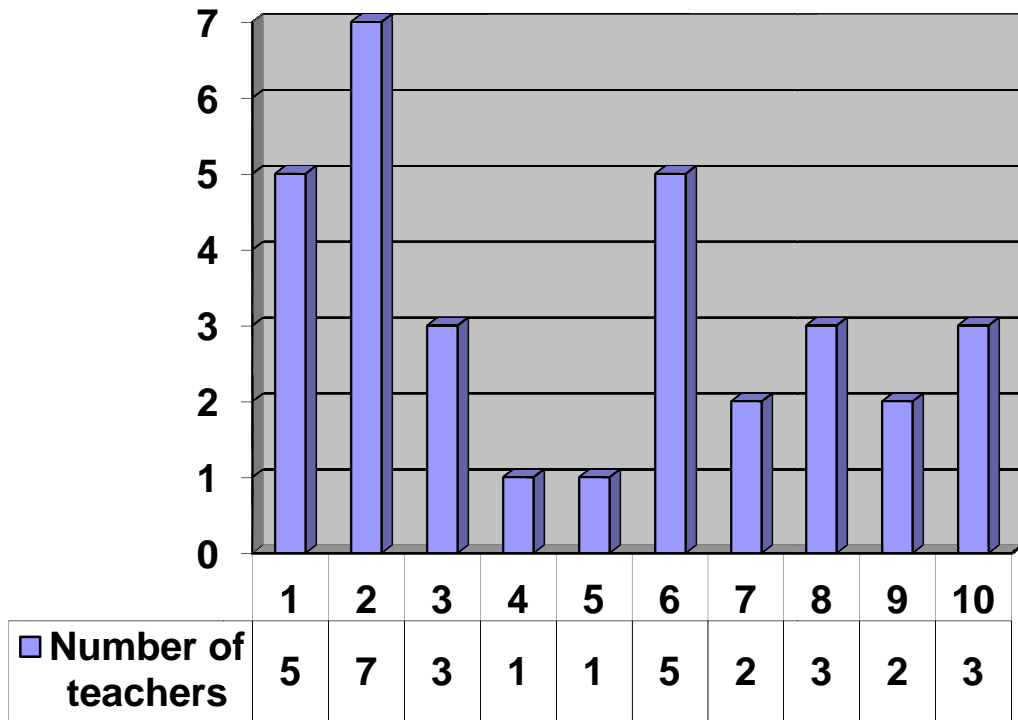


Fig.6. How many teachers don't want to introduce the concept to the curriculum.

When looking at the table no. 1, one can conclude that the teachers teaching in a junior high school (3<sup>rd</sup> educational stage) very often haven't got an opinion about a given issue (0), or they state that the new concepts are too difficult for pupils (N). Where the symbol N appears (one shouldn't introduce the problem), because a student may not understand a problem or there is insufficient number of hours for physics on IV education stage (which wasn't an issue in a survey).

Most of teachers think, that taking into account the technological development, we should introduce new concepts connected with nanotechnology, which is expressed by F or F with: index "r" – physics on the advanced level, index "p" – physics on an ordinary level. What's why I've done the research on introducing new elements to the core curriculum.

### ***4.3 Research hypotheses, used methods***

A working hypothesis ( $H_A$ ) is an assumption of possible relations between chosen variables. The hypothesis is the first, prerequisite element of scientific research into any piece of reality. Scientific research into reality is undertaken to explain in an unbiased way the sources of new and not previously observed events, or to determine explicitly the widely known facts through indicating their conditions. The hypotheses are built believing that there is some order in nature and universal cause and effect relationship. Building a hypothesis is an operation which relies on building an implicit theory about the nature of phenomenon relations between its elements, its scale and proportion.

Characteristics of a good working hypothesis:

- Explain known facts
- Possible to verify
- It deals with events relevant for a given science
- It's highly possible statement
- It's explicitly and sufficiently worded in a detailed way [35]

$H_A$  for introducing nanotechnology elements:

**“One can introduce the basic nanotechnology terms into a high school physics syllabus.”**

Zero hypothesis ( $H_0$ ) is the one, which is verified in, which we assume, that the difference between the analyzed parameters equals zero.

$H_0$  for introducing nanotechnology elements:

**“One can’t introduce the basic nanotechnology terms into a high school physics syllabus.”**

Methods used in the research into introducing new elements to the syllabus:

- Survey
- Drawing up methodological and didactic fundamentals of selecting teaching materials and the organization of teacher’s work at physics classes
- Drawing up an electronic course book
- Drawing up didactic framework of the syllabus
- Producing a syllabus
- Consultation with teachers
- Conducting physics lessons
- Analysing the results of experiments based on “uniform Markov chains”

Markov chains have a vital role in physics didactics. Thanks to them it’s possible to do some research on the results of lesson run by a teacher. Bazyli Bończak and Michał Koszyłowicz are the precursors of this kind of approach. Their proposition is in the article: “Personality factors and results of physics didactic process estimated by probabilistic modeling”. In their opinion, course of the lesson process can be illustrated by the figure below

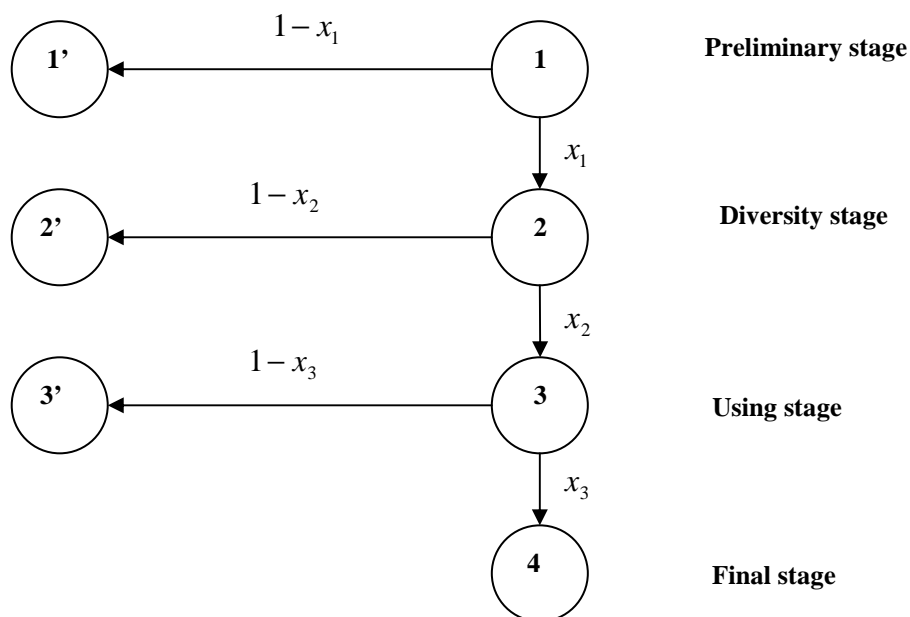


Fig.7. Course of the lesson

where:

$\textcircled{1}$  - is the preliminary stage, with all the pupils, where research is conducted on pupils' adequate knowledge needed to understand the contents of the lesson,

$\textcircled{1'}$  - is the absorber stage in stage 1, for such pupils, who lack the knowledge, needed to understand the contents of the lesson,

$\textcircled{2}$  - in this stage research is conducted on pupils' ability to diversify the acquired concepts – during the lesson – among other concepts and inside concepts,

$\textcircled{2'}$  - the absorber stage in stage 2, there are these pupils, who are not able to diversify among and inside of concepts,

$\textcircled{3}$  - stage, in which the pupils should reveal the skills of using acquired knowledge in practice e.g. to solve the problems,

3' - is the absorber stage in stage 3, there are these pupils, who didn't reveal the skills of using the acquired knowledge to solve the problems,

4 - final stage, there are these pupils, who went through the previous stages successfully. A pupil has to go through the previous stage to enter the next one,

$x_1, x_2, x_3$  - this is the probability of moving from the previous to the next stage successfully.

These probabilities according to fig. 7 can be calculated as follows:

$$1 - x_1 = r_{1,1}, \quad (93)$$

where:  $r_{1,1}$  - is the quotient of the number of pupils, who are in 1' stage to the number of pupils in stage 1.

$$x_1(1 - x_2) = r_{1,2}, \quad (94)$$

where:  $r_{1,2}$  - is the quotient of the number of pupils, who are in the 2' stage to the number of pupils in 1 stage.

$$x_1 x_2 (1 - x_3) = r_{1,3}, \quad (95)$$

where,  $r_{1,3}$  - is the quotient of the number of pupils, who are in the 3' stage to the number of pupils in 1 stage.

The probability of achieving stage 4 (final) in three steps  $P(3)$  can be calculated as follows:

$$P(3) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (96)$$

#### ***4.4 Research conditions***

I've organized and carried out a natural pedagogical experiment to verify the hypothesis. The research took place in three high schools from June to October 2010. To reflect the different backgrounds it was conducted in 3 places:

- big city (Rzeszów: population **172 770**),
- small town (Dębica: population **47 234**),
- village (Tomaszów Lub.: population **19 991**).

Pupils participating in the research were from 3<sup>rd</sup> (secondary school), which means from last year in a teaching cycle. They should have completed the whole physics course.

The timetable of the research:

- 1 month – teacher testing (February/ March 2010)
- 3 months – pupils testing:
  - preliminary test (June 2010) – annex number 3
  - conducting lessons by teachers (September 2010) – annex number 4
  - final test (October 2010).

Teachers, taking part in this research, have eight – years' work experience in high schools.

I've taken into account the following categories in my research:

- I. Type of class:
  - Scienceoriented class from Rzeszów (30 pupils),
  - Electrician and car mechanic profiled class from Dębica (21 pupils) and
  - Information technology class from Tomaszów Lub (26 pupils).
- II. Different backgrounds (big city, small town and village)
- III. Average mark in a class (at the end of second year):
  - 3,2 for class from Rzeszów;
  - 3,02 for class from Dębica and
  - 3,35 for class from Tomaszów Lub.

I've obtained a group of pupils with factors determining a didactic and educational process. The variable, which was eliminated, was the teacher's work experience (all of them: 8 years). Every teacher has MA degree.

I've done a mark analysis. Marks from 2<sup>nd</sup> year were indications to initial situation. Before taking the class to the experiment I've been guided by teachers' opinions about the class. There was a different situation in the experimental class because of numbers of pupils. Most pupils in the class were from Rzeszów and the fewest were from Dębica. There wasn't any division of groups in any class. I think it isn't a favourable condition to run the lesson. I had a consultation with every teacher, in every school, before starting the school year. I presented:

- tests for pupils;
- lesson plan;
- teaching aids;
- slides;
- applets (to the tunnelling effect);
- electronic handbook for pupils:

<http://www.if.univ.rzeszow.pl/~zdf/ksiazka/index.php> (annex no. 6)

Teachers, who took part in the research, received concrete tasks to do. They had to prepare themselves for lessons, they had to run the lessons, do preliminary and final tests for pupils.

#### ***4.5 Preliminary research conclusions***

First of all: teachers, taking part in this research did preliminary test for pupils in June 2010.

Fig.8. depicts the result of preliminary test (annex no. 3) for all 77 pupils from 3 High Schools. I got the following answers to the test questions:

TL:

answers:	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>3D</b>	<b>4H</b>	<b>22B</b>	<b>10B</b>	<b>9A</b>	<b>14</b>	<b>7B</b>	<b>4B</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>4B</b>	<b>3B</b>	<b>9C</b>
	C	C	1A	1C	4A	7A	9B	A	18	6A	C	C	14	6A	16
	2A	11B	21C	20		9C	8C	8B	A	16C	7A	1A	A	3C	A
	1B		1E	D				4C	1C		2B	13B	8C	14E	1B
			1G												

D:

answers:	<b>21</b>	<b>9C</b>	<b>1D</b>	1C	<b>17B</b>	<b>9B</b>	<b>7A</b>	<b>17</b>	<b>8B</b>	<b>4B</b>	<b>13</b>	<b>7C</b>	<b>9B</b>	<b>1B</b>	<b>10</b>
	C	12B	20C	17	4A	12C	9B	A	12	8A	C	11	7A	2A	C
				D			5C	4B	A	9C	7A	A	5C	2C	8A
			1G					1-0			1B	3B		2D	3B
			2-0											14E	

R:

answers:	<b>26C</b>	<b>16C</b>	<b>5D</b>	<b>10</b>	<b>19B</b>	<b>10B</b>	<b>22A</b>	<b>21A</b>	<b>11B</b>	<b>3B</b>	<b>19C</b>	<b>17C</b>	<b>6B</b>	<b>0B</b>	<b>7C</b>
	3A 1B	1A 13B	2A 2B 20C 1E	H 1A 18D 1G	11A	11A 9C	1B 7C	4B 5C	19A	13A 14C	7A 4B	3A 10B	17A 7C	6A 2C 1D 21E	22A 1B

In the tables above - numbers in bold are numbers of right answers for every class, which means: TL – class from Tomaszów Lub., D – class from Dębica and R – class from Rzeszów.

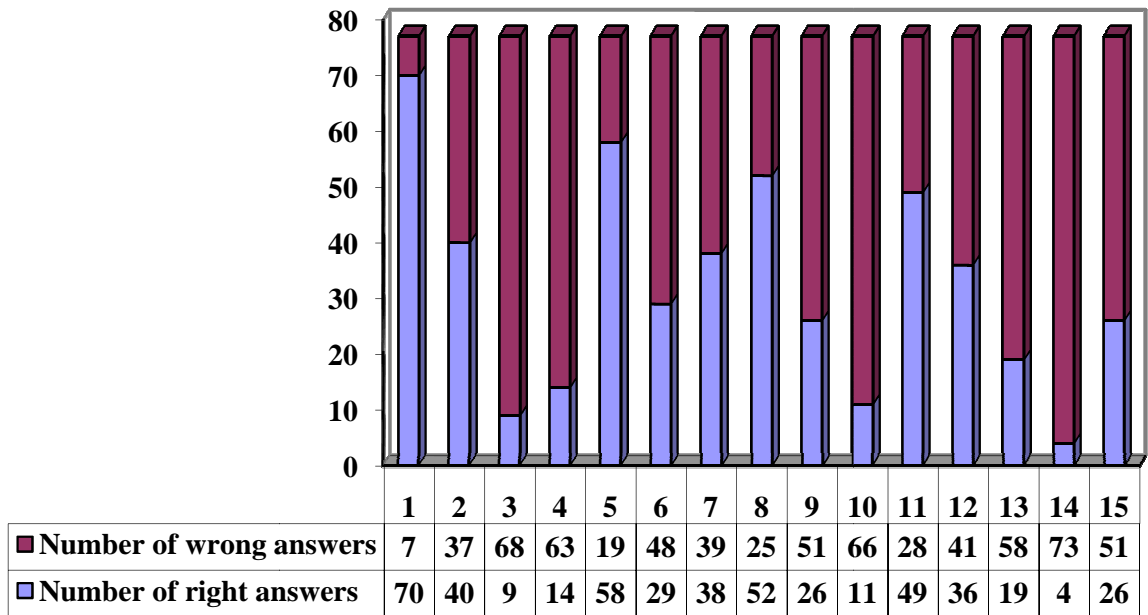


Fig.8. Preliminary test for all 77 pupils from 3 High Schools. Graph shows the number of *right* and *wrong* answers .

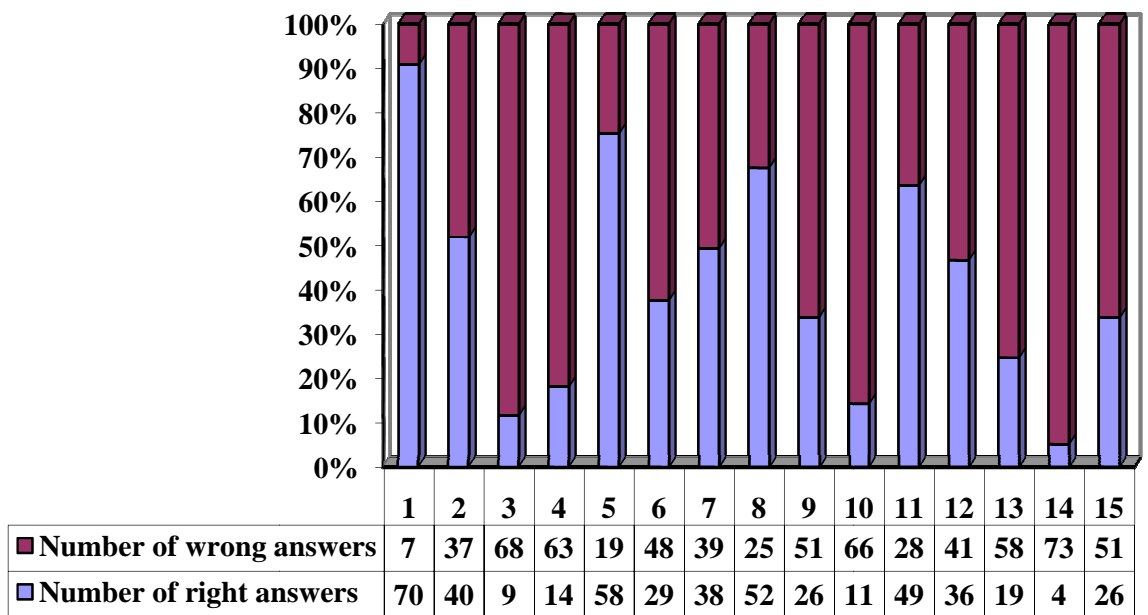


Fig.9. Preliminary test for all 77 pupils from 3 High Schools. Graph shows the number of *right* and *wrong* answers in percents .

As one can see the answers to the questions are very different. It does not depend on the kind of school and type of class.

From preliminary test for pupils we know that their knowledge about:

- independence of quantum events (state lottery) – question number 2,
- probability of finding the particle in a locked area – question number 6, 10 and 11,
- the quantum limitations of the particle's energy – question number 5 and 7,
- nature of tunnelling effect – question number 9 and 12,
- nature of Heisenberg's uncertainty principle – question number 14,
- nature of electrons - question number 15,
- equation with wavefunction - question number 13

is low.

What is very important and observed in different classes, is reading without understanding (for example: question no. 3 and 4: photon's way through two different areas – fast track doesn't mean short track).

Probability of tossing a coin result is quite clear for pupils at this age: almost 91% right answers to question number 1 (Fig.9).

Right answers are 75% to question number 5. It means that pupils know about the possibility of existing any kind of energy in the microscopic particle (maybe by intuition, but they do). I got a quite good answers to questions number 8 and 11, which are connected with classical physics.

I've taken into account the first category in my research:

- I. Type of class (Scienceoriented class from Rzeszów,  
Electrician and car mechanic profiled class from Dębica and  
Information technology class from Tomaszów Lub.)

Before running the lessons by teachers, I got the following answers to the test questions in every class– table number 8 for pupils from Rzeszów, table number 9 for pupils from Dębica and table number 10 for pupils from Tomaszów Lub.

*Tab.8. Preliminary test for 30 pupils  
from 3<sup>rd</sup> year of Secondary School  
(Rzeszów; date of research: 11.10.2010)*

No. of pupil	Number of question and its right answer														
	1 C	2 C	3 D	4 H	5 B	6 B	7 A	8 A	9 B	10 B	11 C	12 C	13 B	14 B	15 C
1	C	C	C	D	B	B	A	A	A	C	A	C	B	A	C
2	C	B	C	H	A	C	C	A	B	A	B	C	A	E	A
3	A	B	B	H	A	A	A	A	A	A	A	C	A	C	A
4	C	B	C	H	A	A	A	B	B	A	A	C	C	E	A
5	C	B	C	D	B	A	A	C	B	C	B	C	A	E	A
6	C	C	A	H	B	A	C	A	B	C	C	B	A	E	A
7	C	C	C	G	A	B	B	C	A	C	C	A	B	E	C
8	C	B	C	D	B	C	A	A	A	C	C	C	A	E	A
9	A	B	C	D	B	C	A	B	B	A	A	B	C	A	C
10	C	C	E	D	A	A	A	A	A	B	C	C	A	E	A
11	C	C	D	D	B	B	A	A	B	C	C	C	A	A	C
12	C	B	C	D	B	A	A	A	A	A	B	A	C	E	A
13	C	B	D	H	B	C	A	B	A	A	A	B	A	E	A
14	C	B	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	A	E	A
15	A	C	C	H	A	C	A	A	A	C	A	B	A	E	A
16	C	B	C	D	B	B	C	A	A	C	C	C	A	E	A
17	C	B	C	D	B	B	C	A	A	A	C	B	C	C	A
18	C	C	C	D	B	B	A	A	B	C	C	C	A	E	C
19	C	B	C	D	B	C	A	A	A	C	C	C	B	A	A
20	C	C	C	D	A	A	A	A	A	B	B	B	B	E	B
21	C	C	C	H	B	A	A	A	B	B	C	C	A	E	A
22	C	C	D	A	A	B	A	C	B	A	A	C	C	A	A
23	C	C	B	H	B	B	A	A	B	C	C	B	C	E	A
24	C	B	C	D	A	A	A	A	A	A	C	B	A	E	A
25	C	C	C	D	A	A	A	A	A	A	C	A	A	E	A
26	C	C	C	D	B	B	A	C	A	C	C	C	A	E	C
27	C	C	D	D	B	C	C	A	A	A	C	B	A	A	A
28	B	A	A	H	A	A	C	B	B	A	C	C	C	D	A
29	C	C	C	D	B	C	C	C	A	A	C	B	B	E	A
30	C	C	D	H	B	C	A	A	A	C	C	C	B	E	C
All answers:	26C 3A 1B	16C 1A 13B	5D 2A 2B 20C 1E	10H 1A 18D 1G	19B 11A	10B 11A 9C	22A 1B 7C	21A 4B 5C	11B 19A	3B 13A 14C	19C 7A 4B	17C 3A 10B	6B 17A 7C	0B 6A 2C 1D 21E	7C 22A 1B

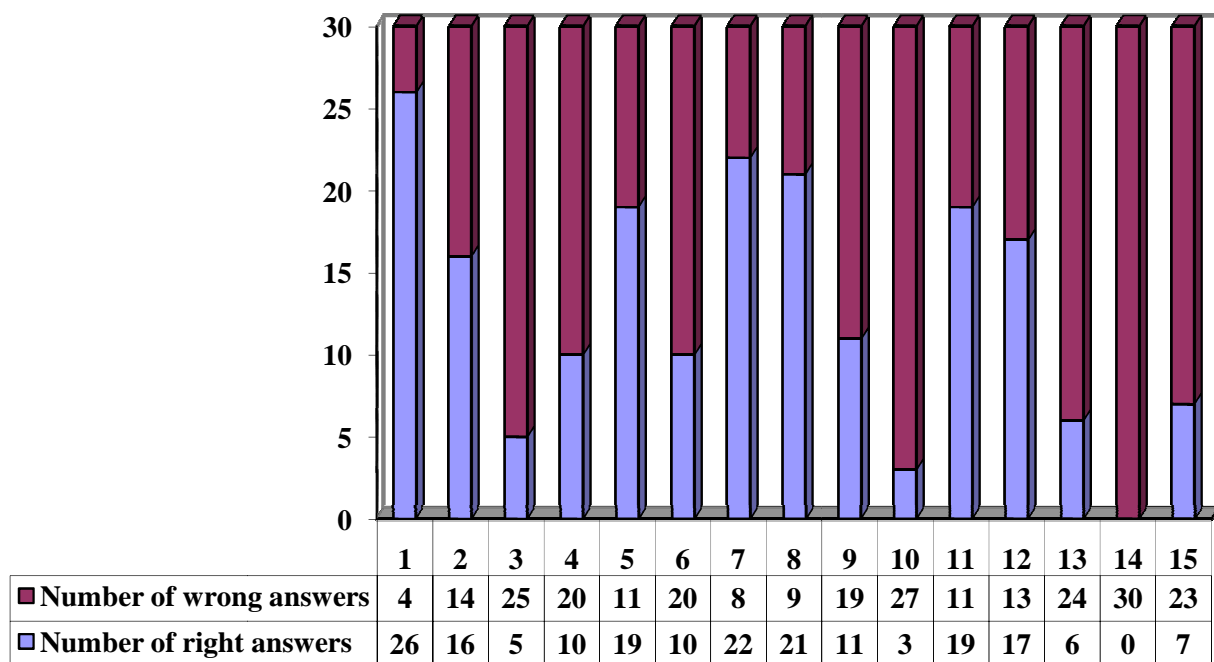


Fig.10. Preliminary test for 30 pupils from 3<sup>rd</sup> year of Secondary School (Rzeszów; date of research: 11.10.2010). Graph shows the number of *right* and *wrong* answers .

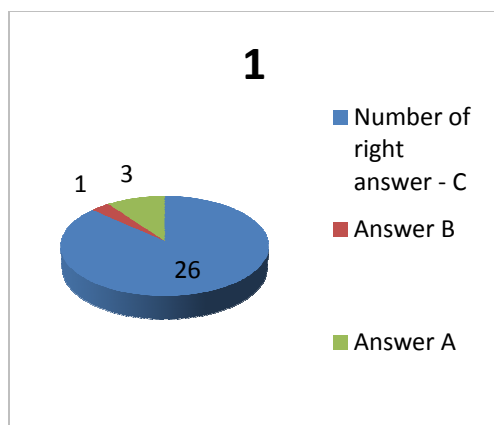


Fig.11. Answers for *question 1*

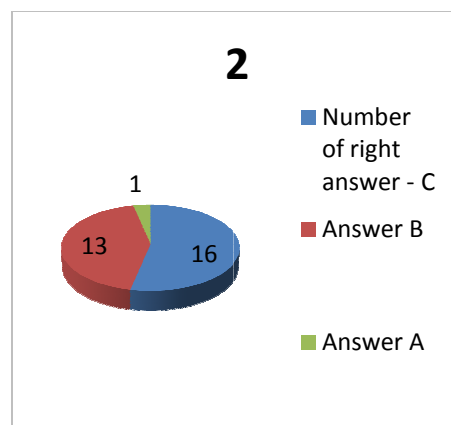


Fig.12. Answers for *question 2*

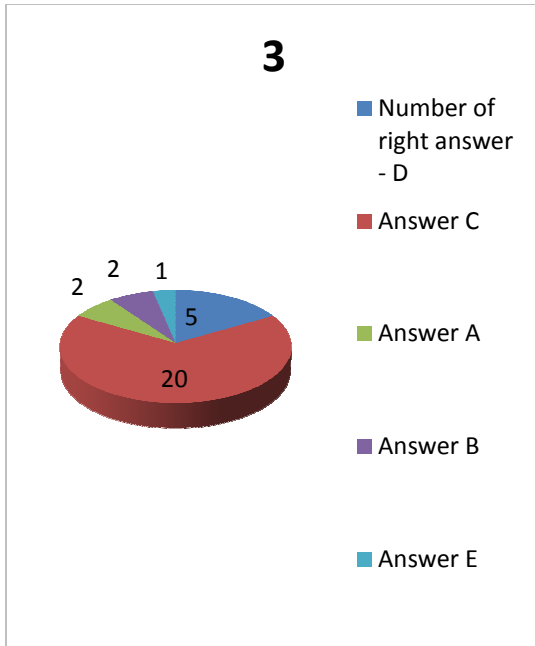


Fig.13. Answers for question 3

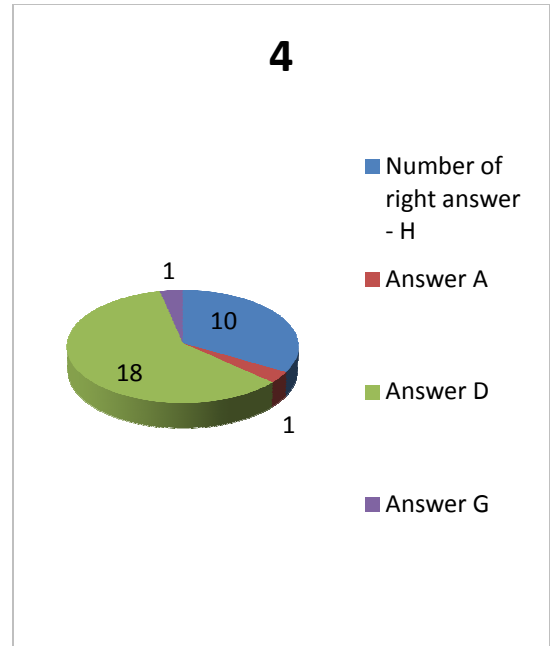


Fig.14. Answers for question 4

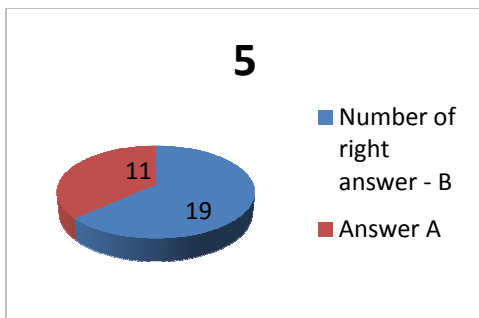


Fig.15. Answers for question 5

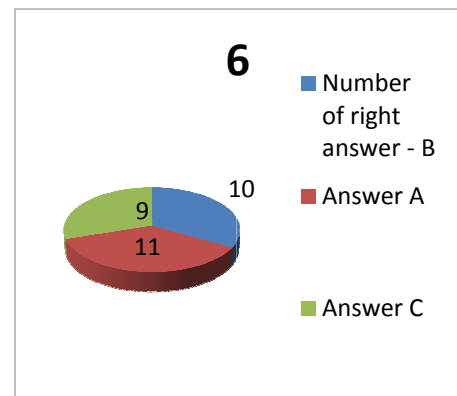


Fig.16. Answers for question 6

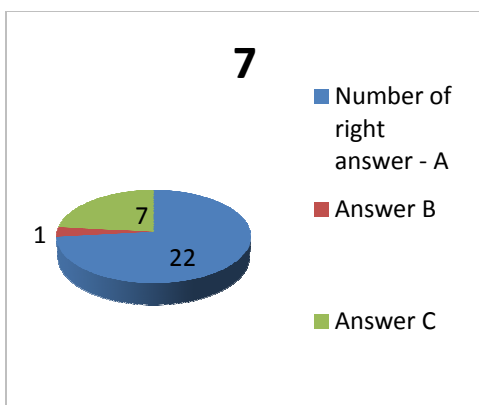


Fig.17. Answers for question 7

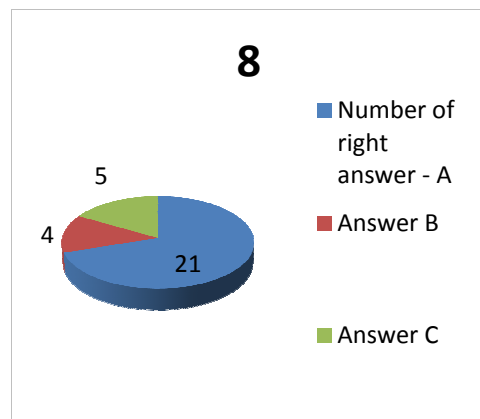


Fig.18. Answers for question 8

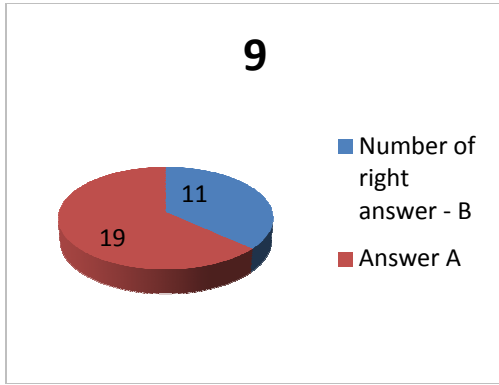


Fig.19. Answers for *question 9*

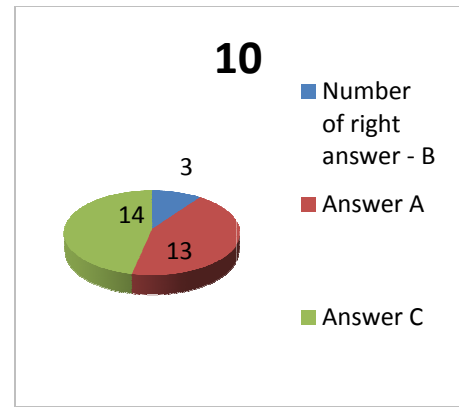


Fig.20. Answers for *question 10*

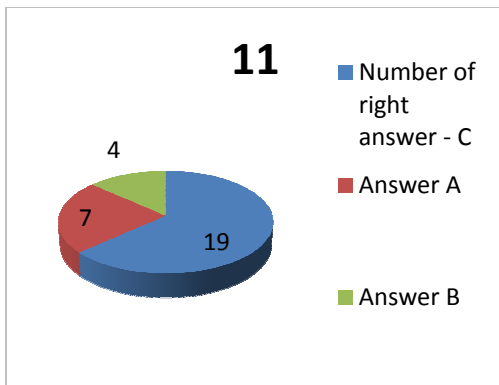


Fig.21. Answers for *question 11*

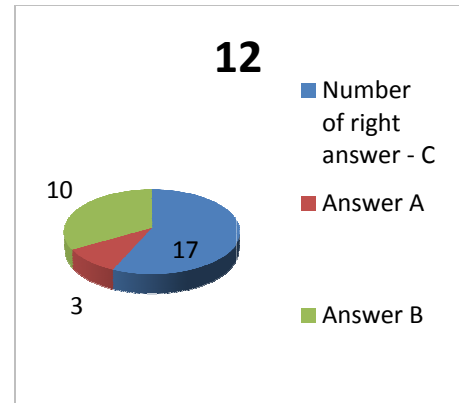


Fig.22. Answers for *question 12*

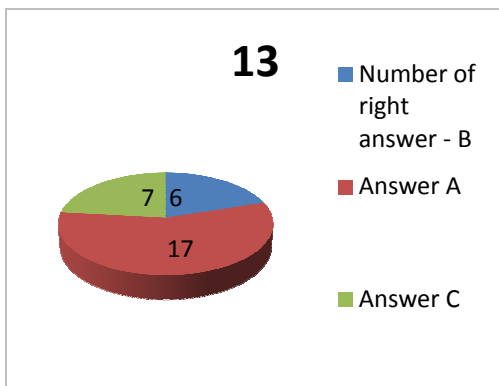


Fig.23. Answers for *question 13*

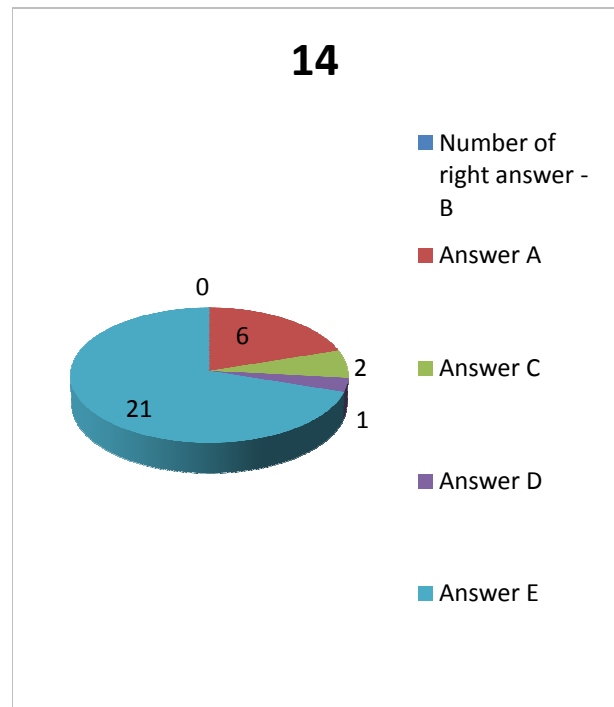
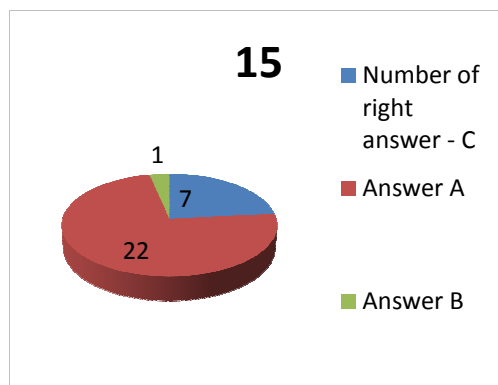


Fig.24. Answers for *question 14*



*Fig.25. Answers for question 15*

*(Preliminary test for 30 pupils from 3<sup>rd</sup> year of Secondary School in Rzeszów;  
Date of research: 11.10.2010)*

When one takes a look at fig. no. 11, he can say that more than half wrong answers; from all schools; to question number 1 are from Rzeszów, but there is quite a lot of right answers to this question: 26 from 30 (it's about 87% of all answers from this class). It is fewer than all of right answers (about 91%). It means that, the probability of tossing a coin result is well known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 12, he can say that less than half of all pupils from this class gave wrong answers to question number 2. It is about 47%, so as many as all of wrong pupils' answers from all schools (about 48%). It means that the rule of state lottery is quite well known by half of pupils. When one takes a look at fig. no. 13, he can say that there is a very few good answers to question number 3 (about 17%), but more than all of good answers from all classes (about 12%). It means that majority of these good answers came from Rzeszów. Question number 3 is more connected with reading with understanding, because the Physics information in this question refers to the 3<sup>rd</sup> educational stage and it should be known by pupils at this age. It is the same situation with question number 4 (Fig.14). There are a very few good answers to question number 4 (about 33%), but more than all of good answers from all classes (about 18%). It means that the majority of these good answers came from Rzeszów. Question number 4 is more connected with reading with understanding too, because the Physics information in this question refer to the 3<sup>rd</sup> educational stage and it should be known by pupils at this age. When one takes a look at fig. no. 15, one can say that more than half wrong answers; from all schools; to the question number 5 are from Rzeszów, but there is quite a lot of right answers to this question: 19 from 30 (it's about 63% of all answers

from this class). It is fewer than all of right answers (about 75%). In spite of it, the information about particle's energy is well known by pupils at this age. When one takes a look at fig. no. 16, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 6 (about 33%) and fewer than all of good answers from all classes (about 38%). It means that the probability of finding the particle in a locked area concept is hardly known by pupils at this stage. When one takes a look at fig. no. 17, he can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 7 (about 73%) and more than all of good answers from all classes (about 49%). It means that the quantum limitations of the particle's energy concept is the best known by pupils from Rzeszów. When one takes a look at fig. no. 18, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 8 (about 70%) and more than all of good answers from all classes (about 67%). It means that the law about energy - law of conservation of energy, kinetic and potential energy concepts – is quite well known by pupils at this class. When one takes a look at fig. no. 19, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 9 (about 37%) and more than all of good answers from all classes (about 34%). It means that the nature of tunnelling effect is hardly known by pupils at this stage. When one takes a look at fig. no. 20, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 10 (about 10%) and less than all of good answers from all classes (about 14%). It means that the probability of finding the moving particle is hardly known by pupils at this stage. When one takes a look at fig. no. 21, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 11 (about 63%) and exactly as many as all of good answers from all classes (63%). It means that the phenomenon of wave transition between two areas is well known by pupils at this stage. When one takes a look at fig. no. 22, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 12 (about 57%) and more than all of good answers from all classes (about 47%). It means that the nature of tunnelling effect is better known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 23, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 13 (20%) and it is less than all of good answers from all classes (about 25%). It means that the equation with wavefunction concept is hardly known by pupils at this educational stage. These right answers could be randomly chosen. When one takes a look at fig. no. 24, one can say that nobody gave right answers to question number 14 from this class and it is less than all of good answers

from all classes (about 5%). It means that the nature of Heisenberg's uncertainty principle is almost unknown by the pupils at this age. When one takes a look at fig. no. 25, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 15 (about 23%) and it is fewer than all of good answers from all classes (about 34%). It means that the nature of electrons is hardly known by pupils from this class.

*Tab.9. Preliminary test for 21 pupils  
from 2<sup>nd</sup> year of Vocational High School  
(Dębica; date of research: 07. 06. 2010)*

No. of pupil	Number of question and its right answer														
	1 C	2 C	3 D	4 H	5 B	6 B	7 A	8 A	9 B	10 B	11 C	12 C	13 B	14 B	15 C
1	C	B	C	D	B	B	A	A	A	A	C	B	C	D	C
2	C	B	C	D	B	B	A	A	A	A	C	A	B	E	C
3	C	B	C	D	B	B	A	A	A	B	A	A	B	E	B
4	C	B	C	D	B	C	A	A	A	A	C	A	B	E	C
5	C	B	C	D	B	C	A	A	A	C	C	A	B	E	C
6	C	C	C	D	A	C	A	A	B	C	C	A	B	E	C
7	C	B	C	D	B	B	B	A	A	C	C	A	C	C	C
8	C	B	C	0	B	B	B	B	A	C	A	A	B	E	B
9	C	B	C	D	A	C	C	A	0	C	C	A	A	E	A
10	C	B	D	D	B	B	A	A	A	C	C	B	A	E	A
11	C	C	C	D	B	C	B	A	B	C	C	A	B	E	C
12	C	B	C	D	B	B	B	A	B	C	C	A	A	E	A
13	C	C	C	D	B	B	B	A	A	A	A	A	C	A	A
14	C	B	C	0	B	B	B	B	B	C	A	C	A	C	C
15	C	C	C	D	B	C	B	A	A	B	A	C	B	B	A
16	C	B	C	D	A	C	B	B	B	A	C	B	A	A	A
17	C	C	C	D	B	C	C	A	B	B	A	C	C	E	C
18	C	C	C	D	B	C	C	A	B	B	A	C	C	E	C
19	C	C	C	D	A	C	B	B	B	A	B	C	B	D	B
20	C	C	C	G	B	C	C	A	A	A	C	C	A	E	A
21	C	C	C	C	B	C	C	A	A	A	C	C	A	E	A
All answers:	21C	9C 12B	1D 20C	1C 17D 1G 2-0	17B 4A	9B 12C	7A 9B 5C	17A 4B	8B 12A 1-0	4B 8A 9C	13C 7A 1B	7C 11A 3B	9B 7A 5C	1B 2A 2C 2D 14E	10C 8A 3B

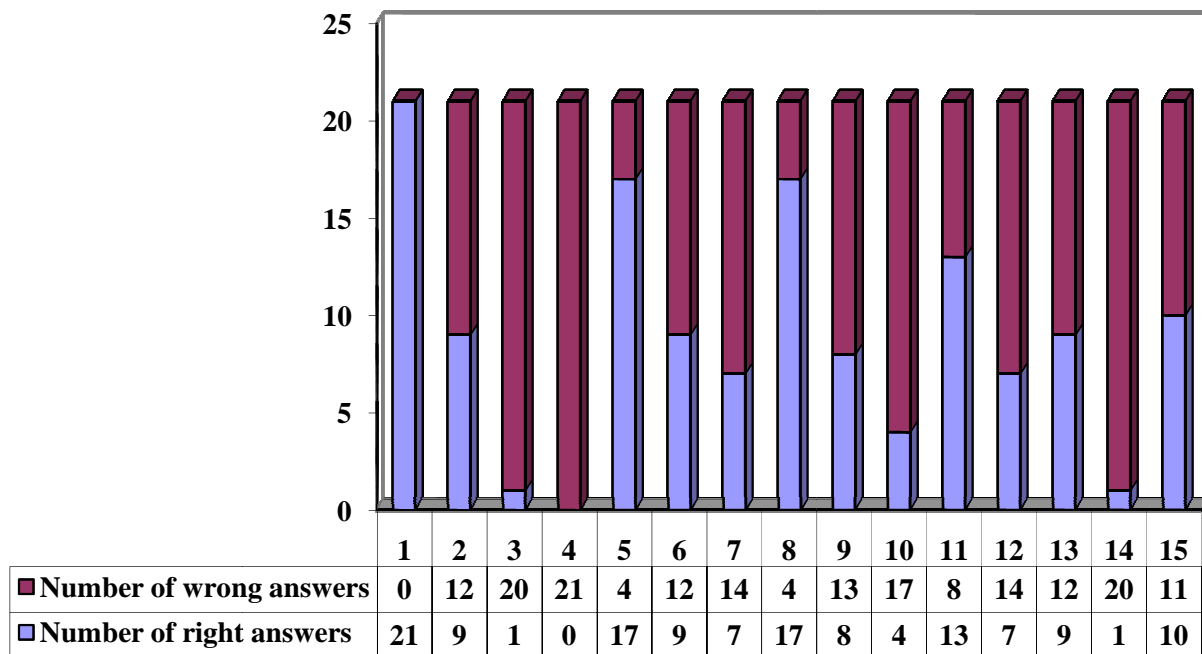


Fig.26. Preliminary test for 21 pupils from 2<sup>nd</sup> year of Vocational High School (Debica; date of research: 07. 06. 2010). Graph shows the number of *right* and *wrong* answers .

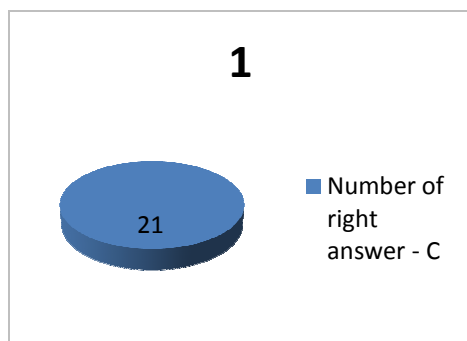


Fig.27. Answers for *question 1*

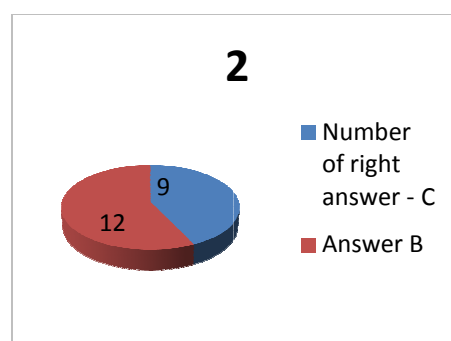


Fig.28. Answers for *question 2*

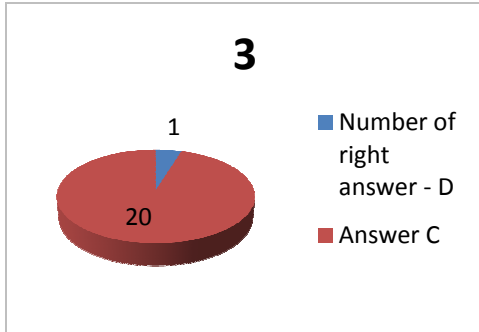


Fig.29. Answers for **question 3**

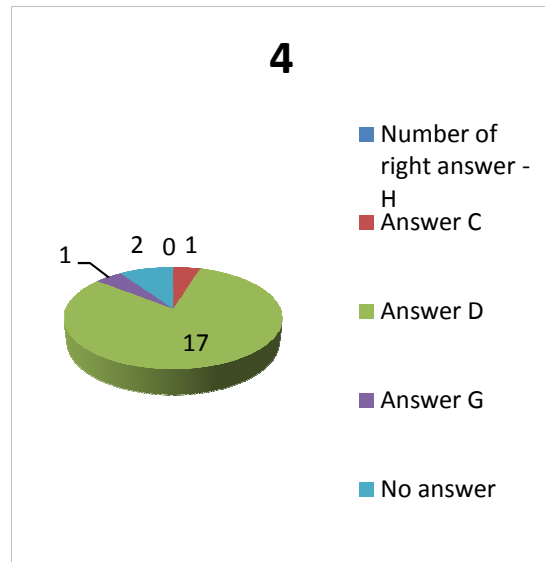


Fig.30. Answers for **question 4**

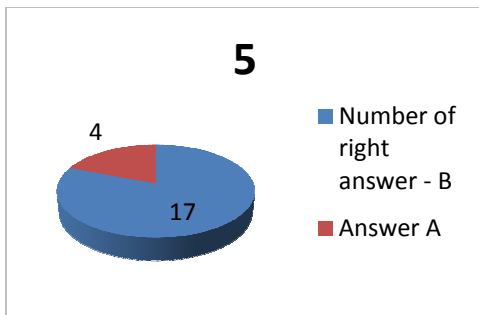


Fig.31. Answers for **question 5**

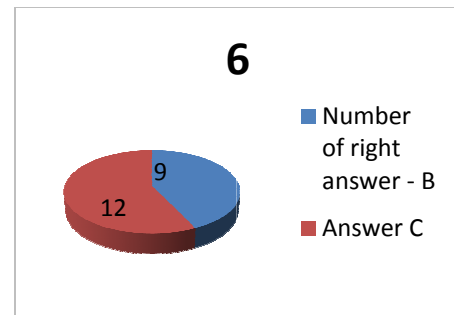


Fig.32. Answers for **question 6**

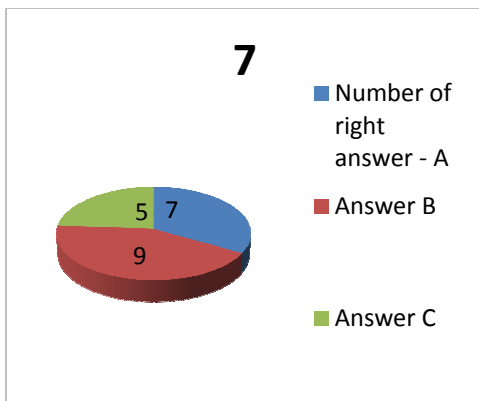


Fig.33. Answers for **question 7**

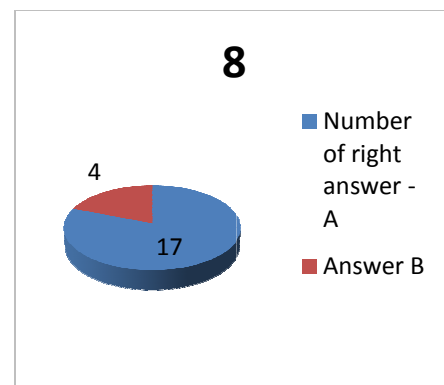
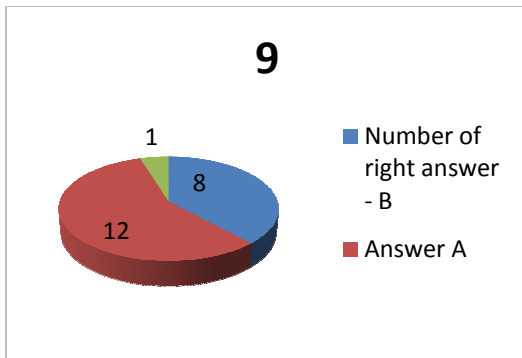
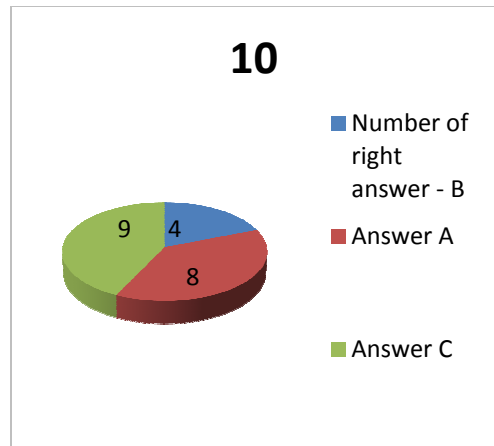


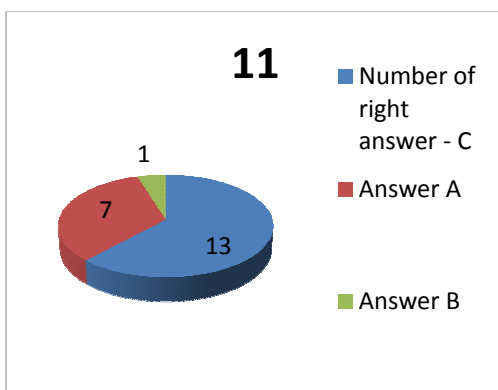
Fig.34. Answers for **question 8**



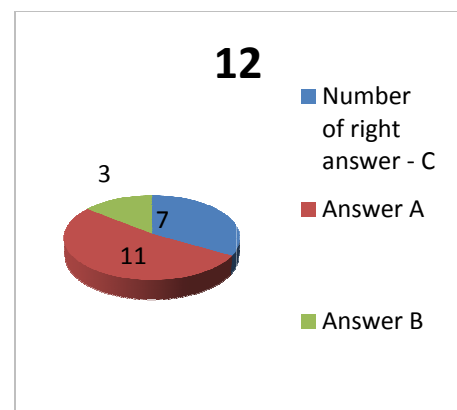
*Fig.35. Answers for question 9*



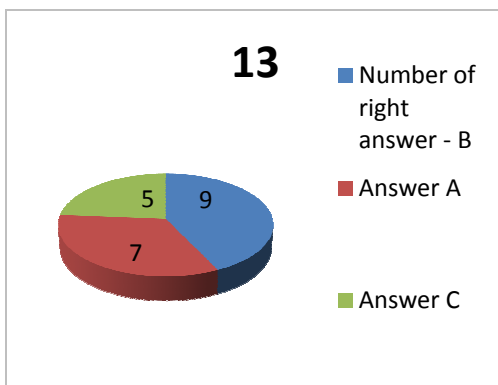
*Fig.36. Answers for question 10*



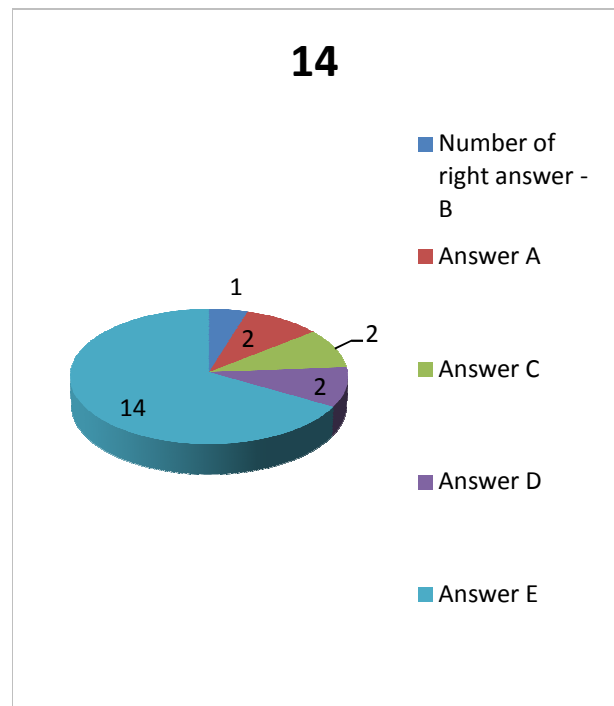
*Fig.37. Answers for question 11*



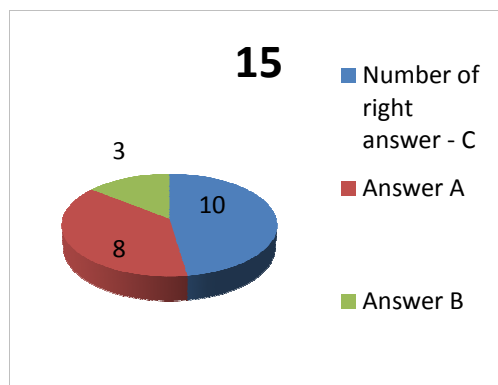
*Fig.38. Answers for question 12*



*Fig.39. Answers for question 13*



*Fig.40. Answers for question 14*



*Fig.41. Answers for question 15*

*(Preliminary test for 21 pupils from 2<sup>nd</sup> year of Vocational High School in Dębica;  
date of research: 07. 06. 2010)*

When one takes a look at fig. no. 27, one can say that all pupils from Dębica gave right answers to question number 1. It is the best result from all of classes in the research. It means that, the probability of tossing a coin result is known the best by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 28, one can say that less than half of all pupils from this class gave right answers to question number 2. It is about 43%, it is fewer than all of right answers from all of schools (about 52%). It means that rule of state lottery is the worst known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 29, one can say that there is a very few good answers to question number 3 (about 5%), and it is the least than all of good answers from all classes (about 12%). Question number 3 is connected with reading with understanding, it means that the pupils from this class have small this ability. It is the same situation with question number 4 (Fig.30). There is any good answers to question number 4, and it is the least than all of good answers from all classes (about 18%). Question number 4 is more connected with reading with understanding too. It means that the pupils from this class have small this ability. When one takes a look at fig. no. 31, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 5 (81%), but there isn't the best result. It is more than all of right answers (about 75%). It means that the information about particle's energy are well known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 32, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 6 (about 43%) and it is the best result of all good answers from all classes (about 38%). It means that the probability of finding the particle in a locked area concept is hardly known by pupils at this stage, but it is the

most known by pupils from Dębica. When one takes a look at fig. no. 33, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 7 (about 33%) and it is the worst result of all classes (about 49%). It means that the quantum limitations of the particle's energy concept is the worst known by pupils from Dębica. When one takes a look at fig. no. 34, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 8 (about 81%) and it is the best result of all classes (about 67%). It means that the law about energy - law of conservation of energy, kinetic and potential energy concepts – is known the best by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 35, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 9 (about 38%), but it is the best result of all good answers from all classes (about 34%). It means that the nature of tunnelling effect is hardly known by pupils at this educational stage. When one takes a look at fig. no. 36, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 10 (about 19%), but it is the best result of all good answers from all classes (about 14%). It means that the probability of finding the moving particle is hardly known by pupils at this educational stage, but it is the best known by pupils from Dębica. When one takes a look at fig. no. 37, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 11 (about 62%) and it is almost as many as all of good answers from all classes (64%). It means that the phenomenon of wave transition between two areas is well known by pupils at this educational stage. When one takes a look at fig. no. 38, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 12 (about 33%) and it is the worst result of all good answers from all classes (about 47%). It means that the nature of tunnelling effect is the worst known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 39, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 13 (43%) and it is the best result of all good answers from all classes (about 25%). It means that the equation with wavefunction concept is the best known by pupils from Dębica. When one takes a look at fig. no. 40, one can say that almost nobody gave right answers to question number 14 from this class (only 5%) and it is exactly the same result of all good answers from all classes (about 5%). It means that the nature of Heisenberg's uncertainty principle is almost unknown by the pupils at this age. When one takes a look at fig. no. 41, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number

15 (about 48%), but it is the best result of all good answers from all classes (about 34%). It means that the nature of electrons is the best known by pupils from Dębica.

*Tab.10. Preliminary test for 26 pupils  
from 2<sup>nd</sup> year of Secondary School  
(Tomaszów Lubelski; date of research: 07. 06. 2010).*

No. of pupil	Number of question and its right answer														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	C	C	D	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
1	C	C	C	H	B	A	A	A	A	B	A	B	A	E	A
2	A	B	C	D	B	C	C	A	A	C	C	C	C	B	A
3	C	B	C	D	B	A	C	B	A	C	C	A	B	E	A
4	C	C	D	D	B	B	C	C	A	C	C	C	A	C	A
5	C	C	C	D	B	C	C	B	A	A	C	B	C	A	A
6	C	B	E	H	B	A	B	C	A	B	A	C	C	B	C
7	C	B	C	G	B	B	C	A	B	B	C	B	A	E	C
8	C	C	C	D	B	C	C	A	A	C	C	B	C	E	A
9	C	B	D	D	B	B	A	C	B	C	C	C	B	E	C
10	C	C	A	H	B	C	A	A	C	C	C	B	A	C	A
11	C	B	C	D	B	C	A	A	A	C	C	C	A	E	C
12	C	B	C	D	B	A	A	B	A	C	C	B	C	E	A
13	C	C	C	D	B	B	A	B	A	A	B	C	B	E	C
14	C	C	C	D	B	C	C	A	B	C	A	B	A	E	B
15	C	B	C	D	B	A	A	B	A	C	C	B	A	C	A
16	C	C	C	D	B	B	A	A	B	C	C	C	C	A	A
17	C	C	C	D	B	B	C	A	A	C	C	C	A	A	C
18	B	B	D	D	B	A	B	B	A	B	A	B	A	E	A
19	C	C	C	D	A	C	B	A	B	A	A	B	B	E	A
20	C	C	C	C	B	C	B	A	A	C	A	B	C	E	A
21	C	C	C	D	B	B	B	B	A	A	C	B	A	E	A
22	C	C	C	D	B	B	A	B	A	A	A	C	A	A	A
23	C	B	C	D	A	A	B	A	B	C	B	C	A	A	C
24	C	C	C	H	B	B	B	C	A	C	C	B	A	B	A
25	C	B	C	D	A	B	B	A	B	C	C	C	A	A	C
26	A	C	C	D	A	C	B	A	A	A	C	C	C	E	C
All answers:	<b>23C</b> 2A 1B	<b>15C</b> 11B	<b>3D</b> 1A 21C 1E	<b>4H</b> 1C 20D 1G	<b>22B</b> 4A	<b>10B</b> 7A 9C	<b>9A</b> 9B 8C	<b>14A</b> 8B 4C	<b>7B</b> 18A 1C	<b>4B</b> 6A 16C	<b>17C</b> 7A 2B	<b>12C</b> 1A 13B	<b>4B</b> 14A 8C	<b>3B</b> 6A 3C 14E	<b>9C</b> 16A 1B

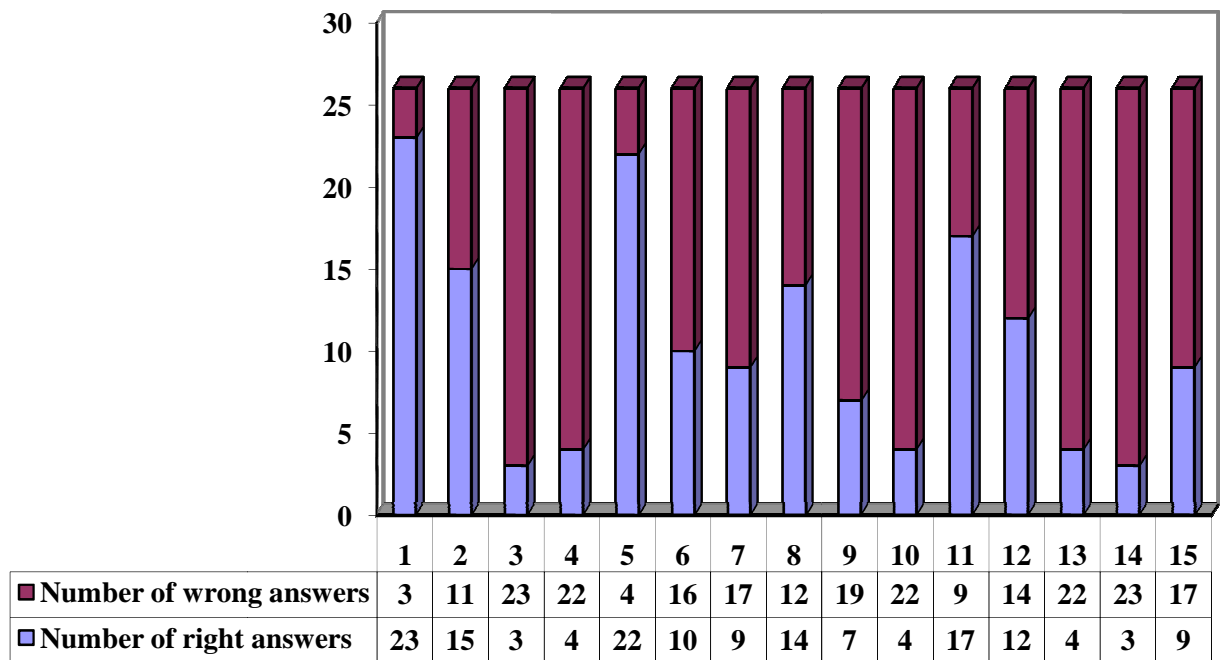


Fig.42. Preliminary test for 26 pupils from 2<sup>nd</sup> year of Secondary School (Tomaszów Lubelski; date of research: 07. 06. 2010). Graph shows the number of *right* and *wrong* answers .

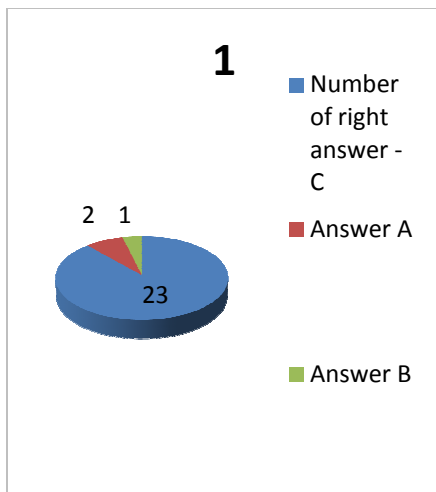


Fig.43. Answers for *question 1*

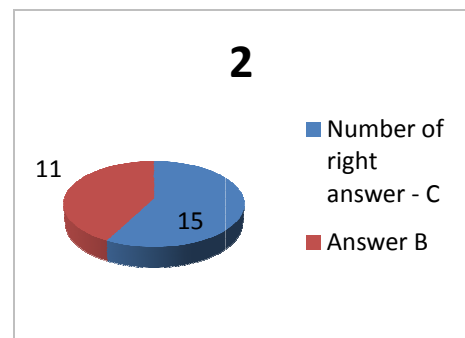


Fig.44. Answers for *question 2*

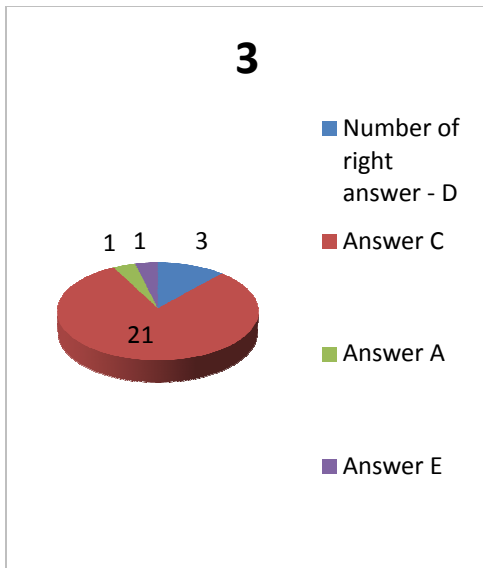


Fig.45. Answers for **question 3**

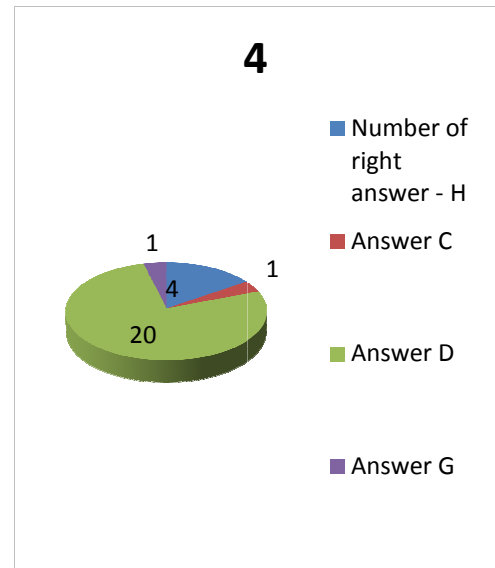


Fig.46. Answers for **question 4**

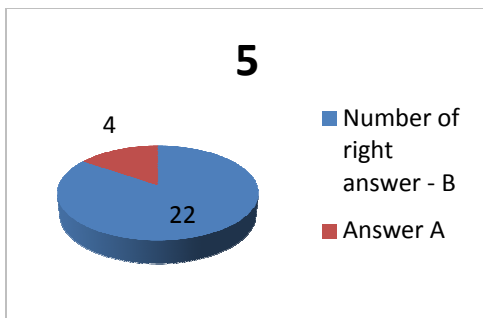


Fig.47. Answers for **question 5**

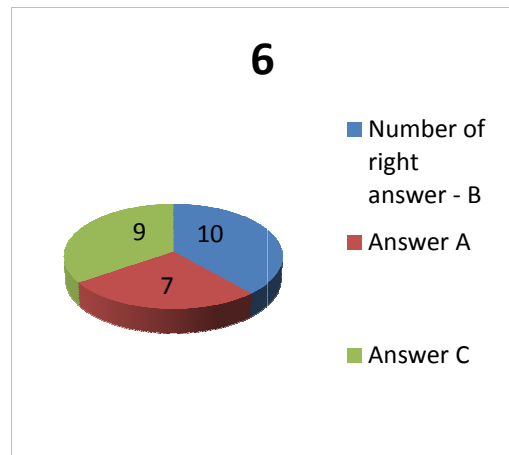


Fig.48. Answers for **question 6**

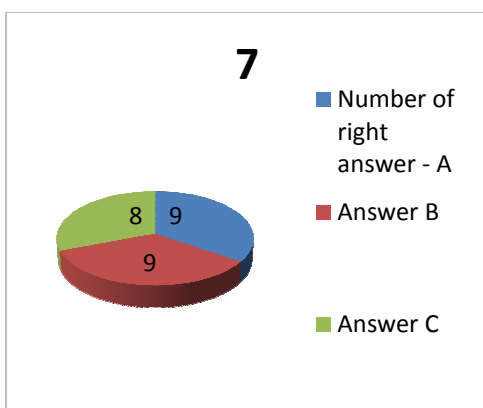


Fig.49. Answers for **question 7**

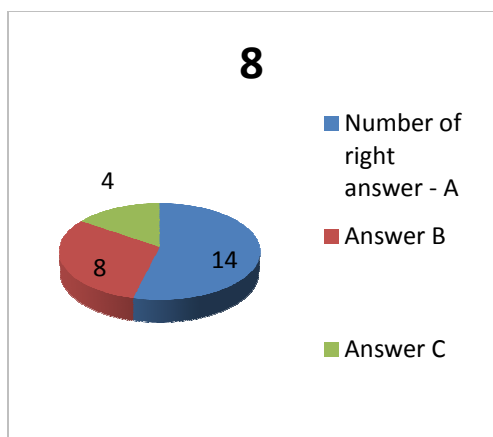
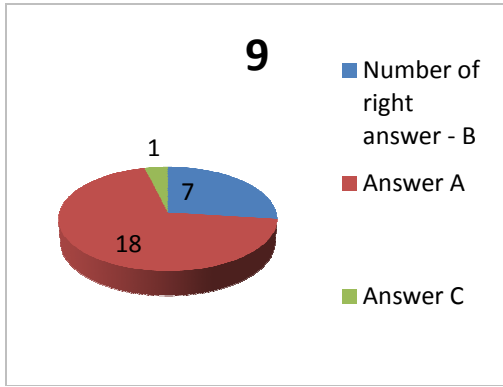
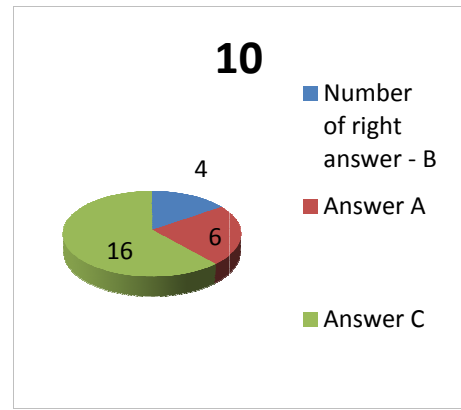


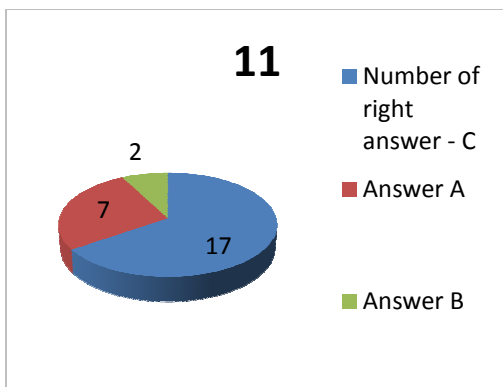
Fig.50. Answers for **question 8**



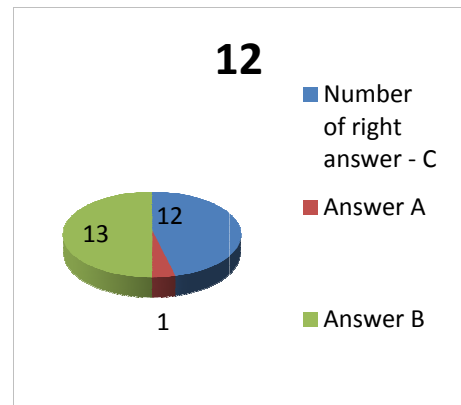
*Fig.51. Answers for question 9*



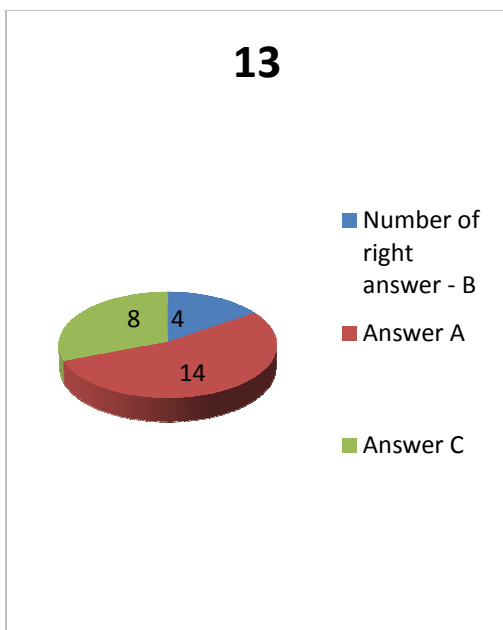
*Fig.52. Answers for question 10*



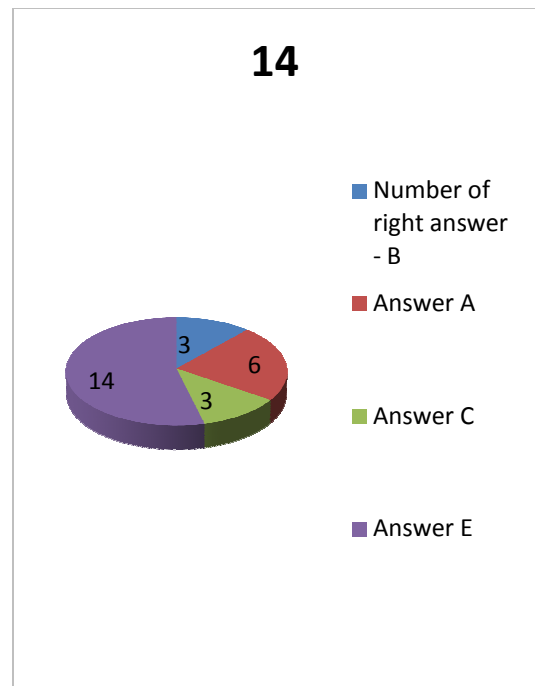
*Fig.53. Answers for question 11*



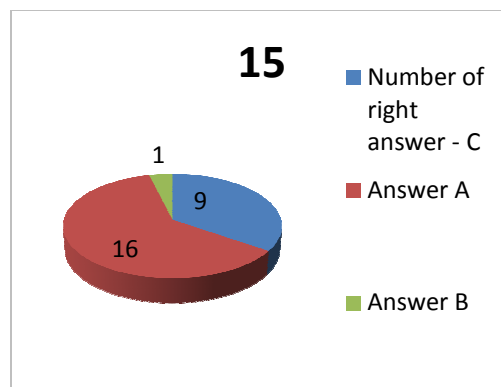
*Fig.54. Answers for question 12*



*Fig.55. Answers for question 13*



*Fig.56. Answers for question 14*



*Fig.57. Answers for question 15*

*(Preliminary test for 26 pupils from 2<sup>nd</sup> year of Secondary School in Tomaszów Lubelski; date of research: 07. 06. 2010)*

When one takes a look at fig. no. 43, one can say that more than half of all pupils from Tomaszow Lubelski gave right answers to question number 1 (about 88%), but it is less than all of right answers (about 91%). It means that, the probability of tossing a coin result is well known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 44, one can say that more than half of all pupils from this class gave right answers to question number 2. It is about 58% and it is the best result of all right answers from all classes (about 52%). It means that rule of state lottery is the best known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 45, one can say that there is a very few good answers to question number 3 (about 11%), and it is almost the same result as all of good answers from all classes (about 12%). Question number 3 is connected with reading with understanding, it means that the pupils from this class have small this ability. It is the same situation with question number 4 (Fig.46). There is a very few good answers to question number 4 (about 15%), but it is less than all of good answers from all classes (about 18%). Question number 4 is more connected with reading with understanding too. It means that the pupils from this class have small this ability. When one takes a look at fig. no. 47, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 5 (85%) and it is the best result of all right answers (about 75%). It means that the information about particle's energy are known the best by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 48, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 6 (about 38%) and it is the same result as all of good answers from all classes (about 38%). It means that the probability of finding the particle in a locked area concept is hardly

known by pupils at this educational stage. When one takes a look at fig. no. 49, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 7 (about 35%) and it is less than result of all classes (about 49%). It means that the quantum limitations of the particle's energy concept is badly known by pupils from Tomaszów Lub. When one takes a look at fig. no. 50, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 8 (about 54%) and it is the worst result of all classes (about 67%). It means that the law about energy - law of conservation of energy, kinetic and potential energy concepts – is badly known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 51, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 9 (about 27%), but it is less than all of good answers from all classes (about 34%). It means that the nature of tunnelling effect is hardly known by pupils at this educational stage. When one takes a look at fig. no. 52, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 10 (about 15%), but it is more than all of good answers from all classes (about 14%). It means that the probability of finding the moving particle is hardly known by pupils at this educational stage. When one takes a look at fig. no. 53, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 11 (about 65%) and it is the best result of all good answers from all classes (64%). It means that the phenomenon of wave transition between two areas is known the best by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 54, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 12 (about 46%) and it is less than result of all good answers from all classes (about 47%). It means that the nature of tunnelling effect is known half to half by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 55, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 13 (15%) and it is the worst result of all good answers from all classes (about 25%). It means that the equation with wavefunction concept is the worst known by pupils from Tomaszów Lub. When one takes a look at fig. no. 56, one can say that pupils from this class gave right answers to question number 14 on the 11% level and it is the best result of all good answers from all classes (about 5%). It means that the nature of Heisenberg's uncertainty principle is the best known by the pupils from this class, but it is still bad result. When one takes a look at fig. no. 57, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 15 (about 35%) and it is almost the same result as all of

good answers from all classes (about 34%). It means that the nature of electrons is not as well known as we could expect.

As one can see the class from Rzeszów was the best in answers to the 3, 4, 7 and 12 test questions (Fig. no. 13, 14, 17 and 22). The class from Dębica was the best in answers to the 1, 6, 8, 9, 10, 13 and 15 test questions (Fig. 27, 32, 34, 35, 36, 39, 41). The class from Tomaszów Lub. was the best in answers to the 2, 5, 11 and 14 test questions (Fig. 44, 47, 53, 56). Even that the class from Tomaszów Lub., which is the most connected with subject of research (Information technology class), they were at the same level with class from Rzeszów (Scienceoriented class) in the preliminary test (in 4 questions was the best). The class from Dębica was the best in the largest of number of test questions.

The class from Rzeszów has 43% right answers, class from Dębica has 42% right answers and class from Tomaszów Lub. has 40% right answers. It means that the scienceoriented class from Rzeszów has the best result in numbers of right answers in pretest from all classes.

The results of preliminary test not depend on type of class, because the electrician and car mechanic profiled class from Dębica, which is not much related with topic of the research has the best in number of this test questions.

I've taken into account the second category in my research:

## II. Different backgrounds (big city, small town and village)

Class from Tomaszów Lub. (the smallest town in the research) was at the same level as class from Rzeszów (the biggest town in the research) in the preliminary research. It means that the backgrounds are unimportant at present – day. I think that it was the essential quantity in education process in times without the internet, which has a vital role in globalization.

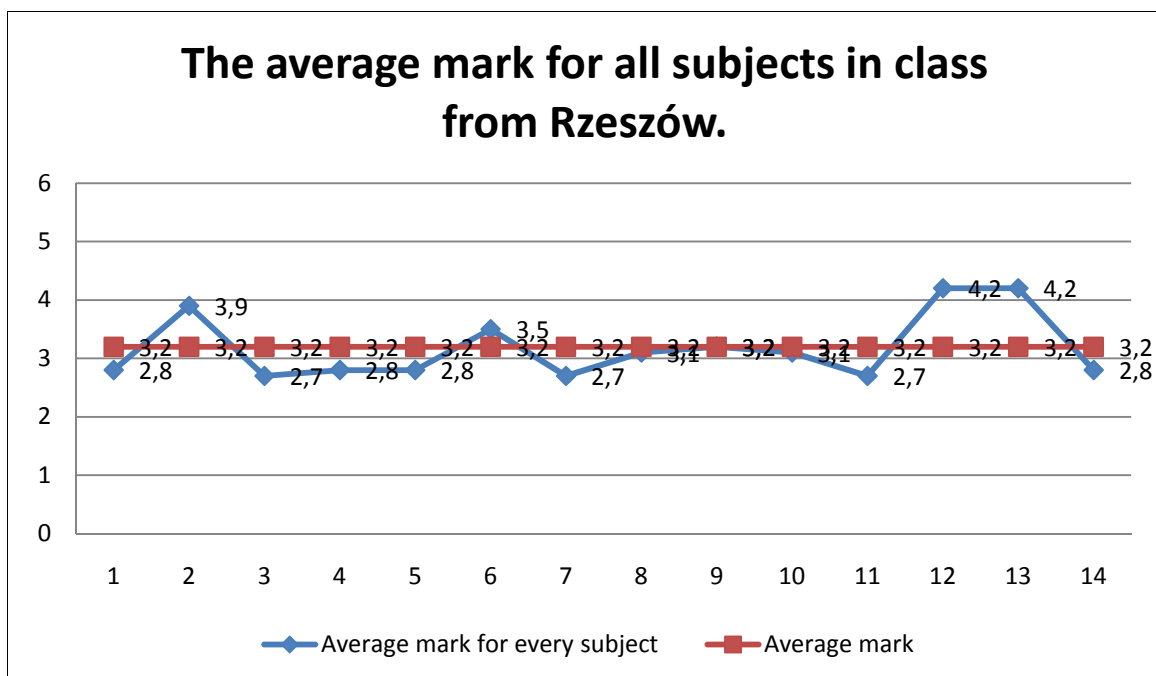
I've taken into account the third category in my research:

## III. Average mark in a classes

Figures below show the average mark from all subjects – red function and for every subject separately – blue function. The class from Rzeszów has 3,2 average mark from all subjects and 2,8 for Physics (Fig.58). The class from Dębica has 3,02 average mark

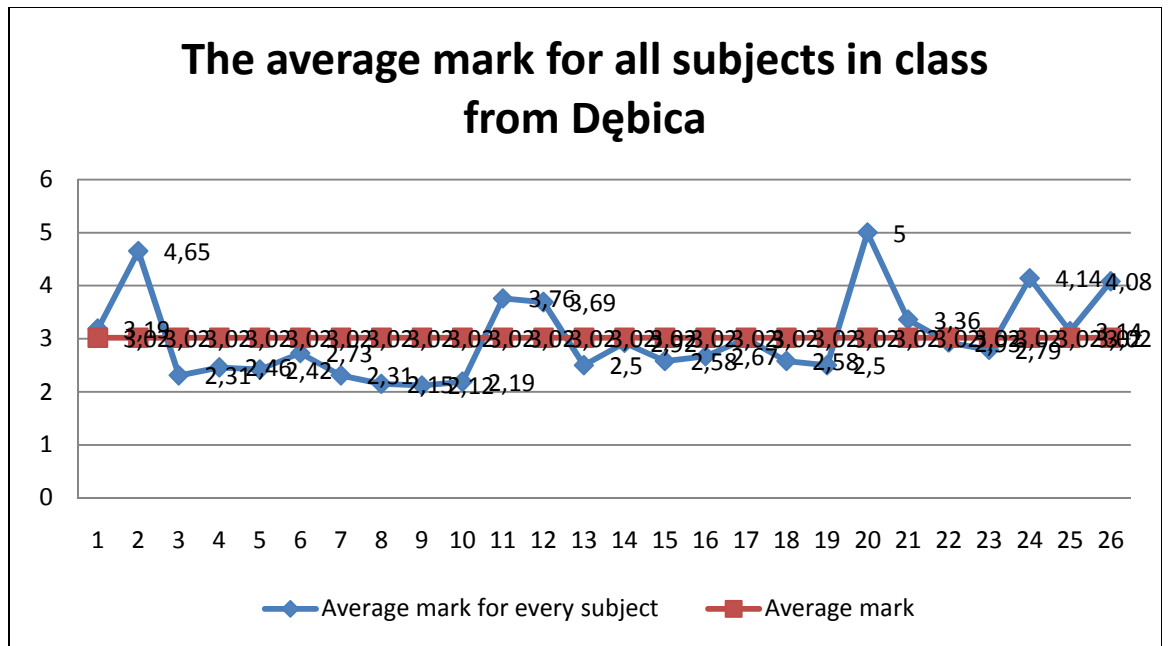
from all subjects and 3,19 for Physics (Fig.59). The class from Tomaszów Lub. has 3,35 average mark from all subjects and 2,5 for Physics (Fig.60).

Scienceoriented class (R):



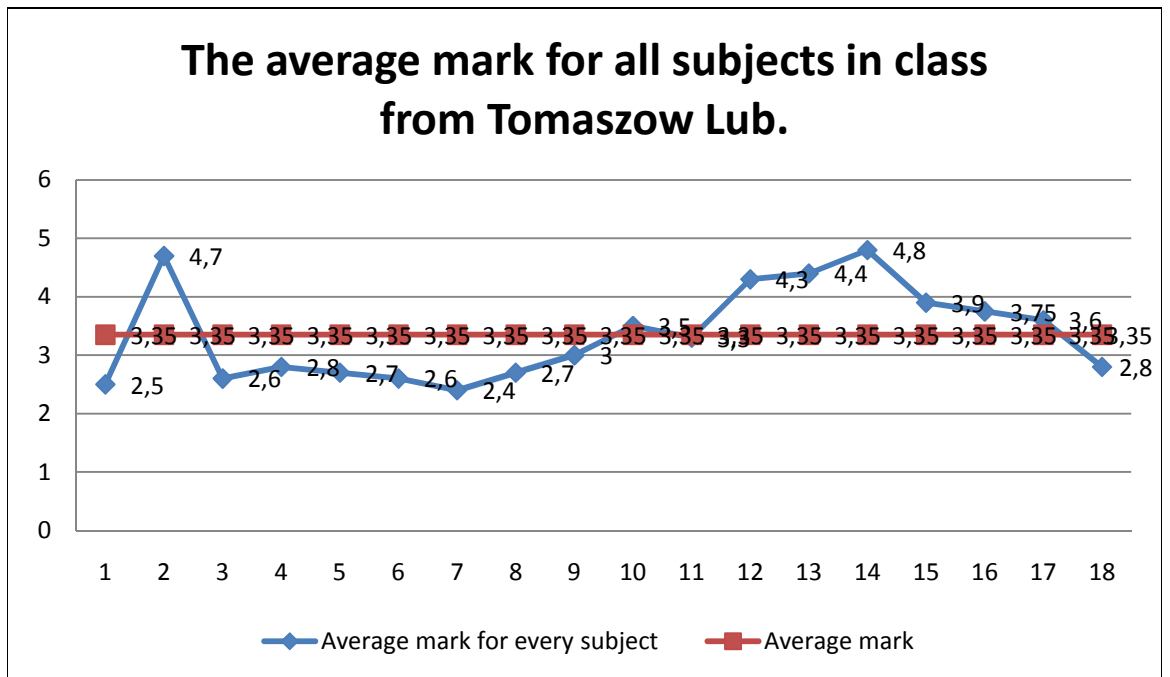
*Fig.58. The average mark for all subject in class from Rzeszów. On the y – axis we have marking scale and on the x – axis we have subjects: 1 – Physics, 2 – Religion, 3 – German, 4 – History, 5 – Mathematics, 6 – English, 7 – Chemistry, 8 – Biology, 9 – Geography, 10 – Informatics, 11 – Personal and social education, 12 - Physical education, 13 – Entrepreneurship, 14 – Polish.*

Electrician and car mechanic profiled class (D):



*Fig.59. The average mark for all subject in class from Dębica. On the y – axis we have marking scale and on the x – axis we have subjects: 1 – Physics, 2 – Religion, 3 – Polish, 4 – English, 5 – German, 6 – History, 7 – Mathematics, 8 – Chemistry, 9 – Biology, 10 – geography, 11 - Physical education, 12 – Defensive preparations, 13 – Electrotechnics and electronics bases, 14 – Electronics and electric laboratory, 15 – Wiring, 16 – Electric machines, 17 – Electric power, 18 – Power electronics, 19 – Structure of machine and devices bases, 20 – Traffic regulations, 21 – Technics laboratory, 22 – Mechanics technology, 23 – Theory of machines, 24 – Industrial safety, 25 – Adjustment and control systems, 26 – Workshop.*

Information technology class (TL):



*Fig.60. The average mark for all subject in class from Tomaszow Lub.*

*On the y – axis we have marking scale and on the x – axis we have subjects: 1 – Physics, 2 – Religion, 3 – German, 4 – History, 5 – Mathematics, 6 – English, 7 – Chemistry, 8 – Biology, 9 – Geography, 10 – Defensive preparations, 11 – Knowledge about culture, 12 - Physical education, 13 – Office software, 14 – Multimedia and computer graphic, 15 – Operating systems, 16 – Computer techniques devices, 17 – Structured programming, 18 – Polish.*

The class from Tomaszów Lub. has the best average mark from all subjects, but it has the worst average mark for Physics from all classes. Then it had at least per cent of right answers to the test questions, but it was on the same level with class from Rzeszów in being the best at answers to the 4 preliminary test questions.

The class from Dębica has the worst average mark from all subjects from all classes. In spite of it, they were the best at answers to the 7 test questions. It can be related with their average mark for Physics, which is the highest from all classes.

The class from Rzeszów had the best result in numbers of right answers in preliminary test from all classes. They don't have the best average mark neither from all subjects nor for Physics.

I can conclude that the best result, in numbers of right answers, does not depend on average mark so much.

I would like to draw an attention to number of subject in every class. The class from Dębica has the most number of subject in their school (26). In spite of it they were the best in 7 test questions from all classes.

#### 4.6 Final research conclusions

After run the physics lessons, which were connected with nanotechnology elements (annex no.4), teachers did final tests for pupils in October 2010.

Fig.61. depicts the result of final test for all 77 pupils from 3 High Schools. I got the following answers to the test questions:

TL:

All answers:	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>0D</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>1B</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>8B</b>	<b>10</b>
	C	C 4B	1A 21 C 4E	H 1A 1B 1C 9D	B 4A 2C	B 1A 6C	A 5B 3C	A 1B 4C	B 8A 2C	3A 22 C	C 2A	C 4A 4B	B 4A 7C	6 A 3C 9E	C 14 A 2B

D:

All answers:	<b>21C</b>	<b>14C</b>	<b>2D</b>	<b>6H</b>	<b>18B</b>	<b>19B</b>	<b>13A</b>	<b>21A</b>	<b>6B</b>	<b>2B</b>	<b>21C</b>	<b>21C</b>	<b>16B</b>	<b>3B</b>	<b>8C</b>
		7B	19C	15D	3A	2C	8B		15A	19C			1A 4C	2A 16E	13A

R:

All answers:	<b>30C</b>	<b>30C</b>	<b>7D</b>	<b>21H</b>	<b>28B</b>	<b>26B</b>	<b>27A</b>	<b>30A</b>	<b>30B</b>	<b>23B</b>	<b>29C</b>	<b>25C</b>	<b>25B</b>	<b>29B</b>	<b>26C</b>
			2B 10C 11E	9D	2A	2A 2C	3B			1A 6C	1A	1A 4B	4A 1C	1C	3A 1B

In the tables above - numbers in bold are numbers of right answers for every class, which means: TL – class from Tomaszów Lub., D – class from Dębica and R – class from Rzeszów.

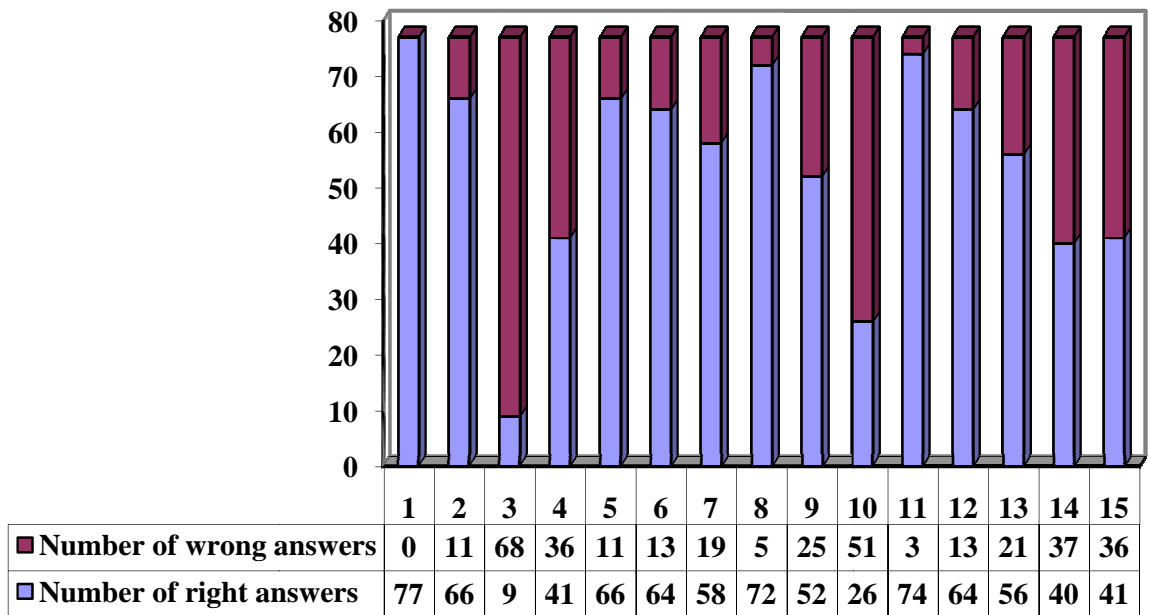


Fig.61. Final test for all 77 pupils from 3 High Schools. Graph shows the number of *right* and *wrong* answers .

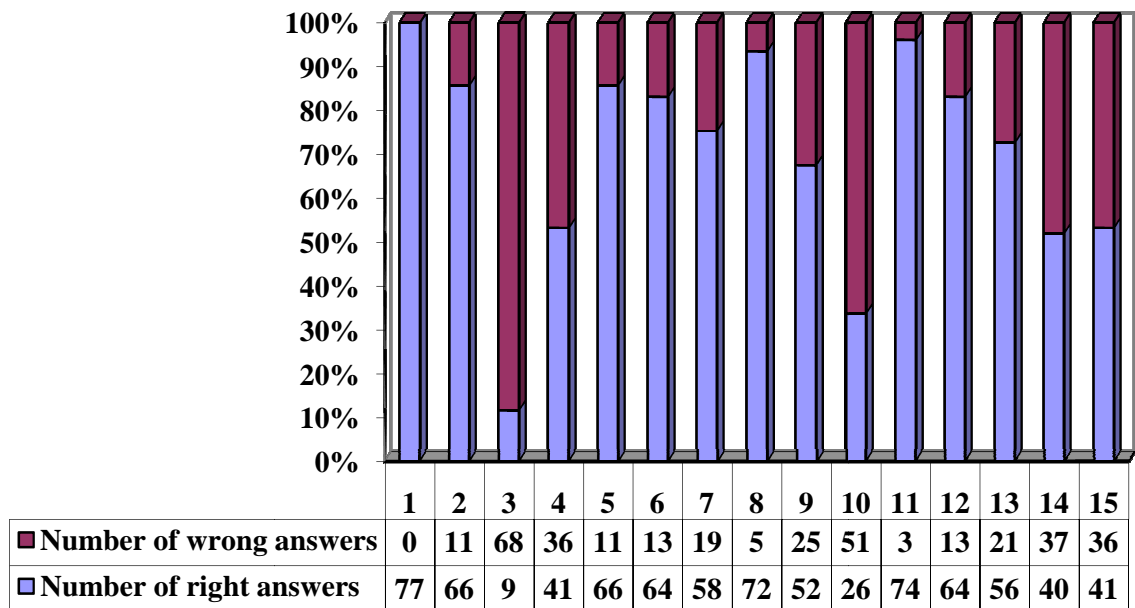


Fig.62. Final test for all 77 pupils from 3 High Schools. Graph shows the number of *right* and *wrong* answers in percents.

As one can see the answers to the questions are very different. It does not depend on the kind of school and type of class.

From final test for pupils we know that their knowledge about:

- probability of tossing a coin result – question number 1,
- independence of quantum events (state lottery) – question number 2,
- probability of finding the particle in a locked area – question number 6 and 11,

- the quantum limitations of the particle's energy – question number 5 and 7,
- nature of tunnelling effect – question number 9 and 12,
- nature of Heisenberg's uncertainty principle – question number 14,
- nature of electrons - question number 15,
- equation with wavefunction - question number 13

compares with running the lessons and it is better known by pupils than before lessons.

Reading without understanding is still observed in final test (question no. 3 and 4). Phenomenon of slowly motion (question number 10) is not connected – for pupils – with high probability of particle being found.

I've taken into account the first category in my research:

- IV. Type of class (Scienceoriented class from Rzeszów,  
Electrician and car mechanic profiled class from Dębica and  
Information technology class from Tomaszów Lub.)

After running the lessons by teachers, I got the following answers to the test questions in every class – table number 11 for pupils from Rzeszów, table number 12 for pupils from Dębica and table number 13 for pupils from Tomaszów Lub.

*Tab.11. Final test for 30 pupils  
from 3<sup>rd</sup> year of Secondary School  
(Rzeszów; date of research: 02.11. 2010)*

No. of pupil	Number of question and its right answer														
	1 C	2 C	3 D	4 H	5 B	6 B	7 A	8 A	9 B	10 B	11 C	12 C	13 B	14 B	15 C
1	C	C	D	D	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
2	C	C	D	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
3	C	C	E	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
4	C	C	E	H	A	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
5	C	C	C	D	B	A	A	A	B	C	C	C	A	B	C
6	C	C	E	H	B	B	A	A	B	B	C	C	C	B	A
7	C	C	C	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
8	C	C	E	H	B	A	A	A	B	C	C	C	B	B	A
9	C	C	E	H	B	B	B	A	B	B	C	A	A	B	C
10	C	C	D	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
11	C	C	C	D	B	B	A	A	B	B	C	B	B	B	C
12	C	C	D	H	B	B	A	A	B	C	C	C	A	C	A
13	C	C	E	H	A	B	B	A	B	B	C	B	B	B	C
14	C	C	D	H	B	C	A	A	B	B	C	C	B	B	C
15	C	C	D	H	B	B	A	A	B	A	A	C	B	B	C
16	C	C	C	D	B	B	A	A	B	C	C	C	B	B	C
17	C	C	E	H	B	B	A	A	B	B	C	B	B	B	C
18	C	C	C	D	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
19	C	C	E	D	B	B	A	A	B	B	C	C	A	B	C
20	C	C	C	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
21	C	C	E	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
22	C	C	E	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
23	C	C	B	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
24	C	C	C	D	B	B	A	A	B	B	C	B	B	B	C
25	C	C	C	D	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	B
26	C	C	E	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
27	C	C	B	H	B	B	A	A	B	C	C	C	B	B	C
28	C	C	C	D	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
29	C	C	C	H	B	C	B	A	B	C	C	C	B	B	C
30	C	C	D	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
All answers:	30C	30C	7D 2B 10C 11E	21H 9D	28B 2A	26B 2A 2C	27A 3B	30A	30B	23B 1A 6C	29C 1A	25C 1A 4B	25B 4A 1C	29B 1C	26C 3A 1B

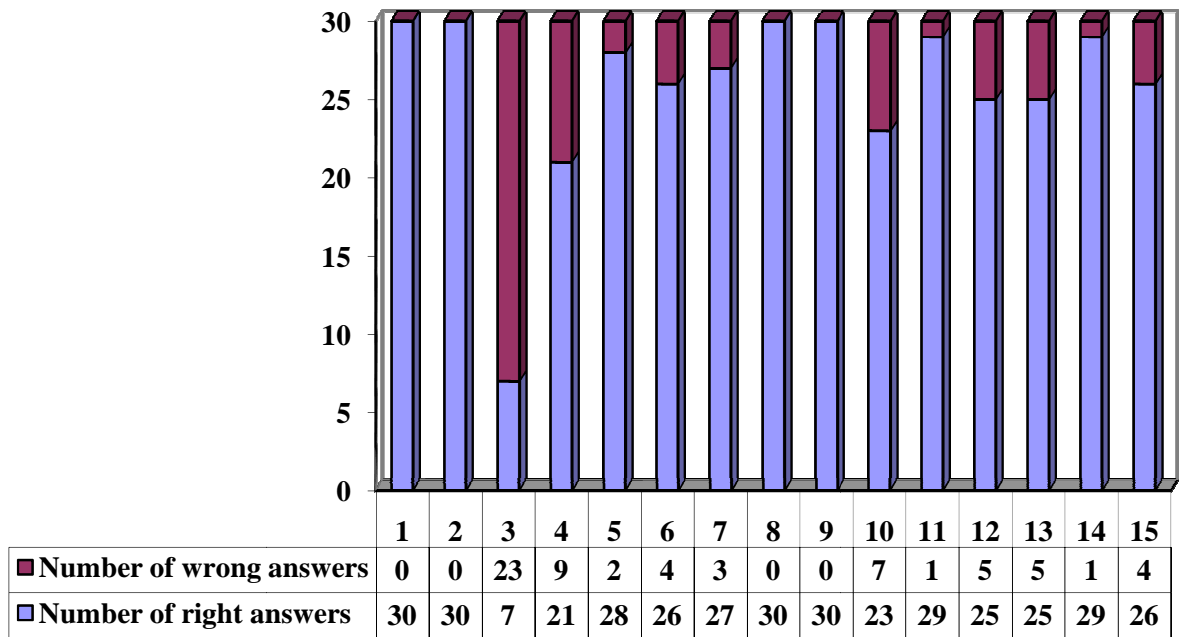


Fig.63. Final test for 30 pupils from 3<sup>rd</sup> year of Secondary School (Rzeszów; date of research: 02.11. 2010). Graph shows the number of *right* and *wrong* answers .

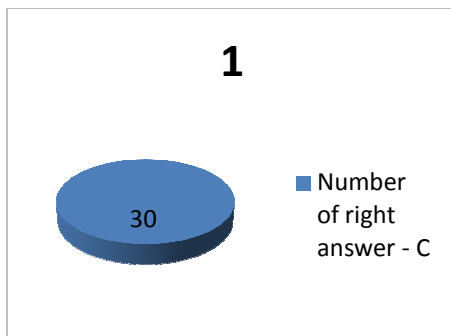


Fig.64. Answers for *question 1*

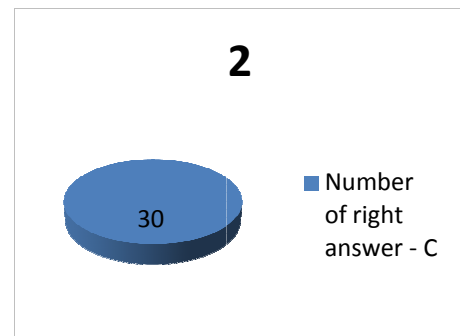


Fig.65. Answers for *question 2*

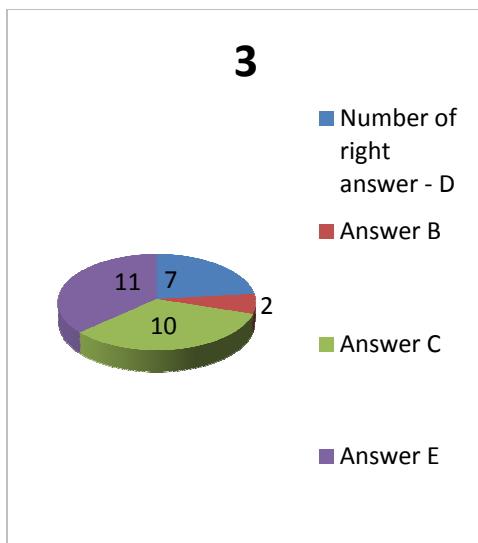


Fig.66. Answers for *question 3*

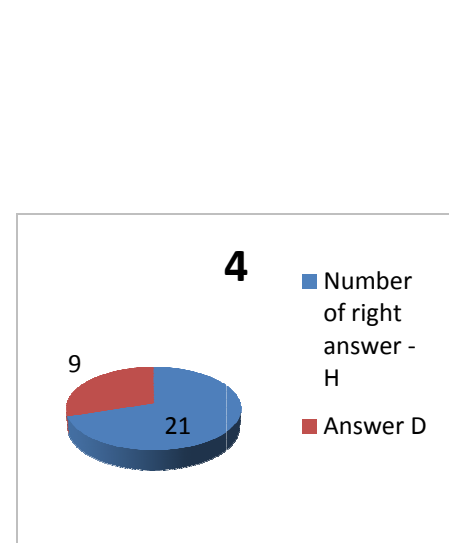
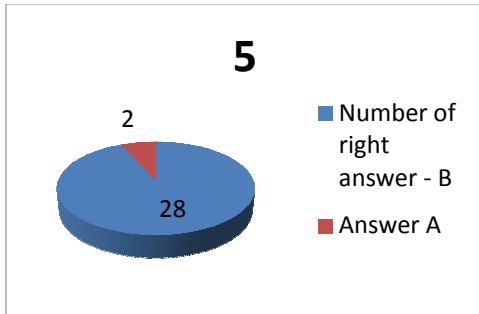
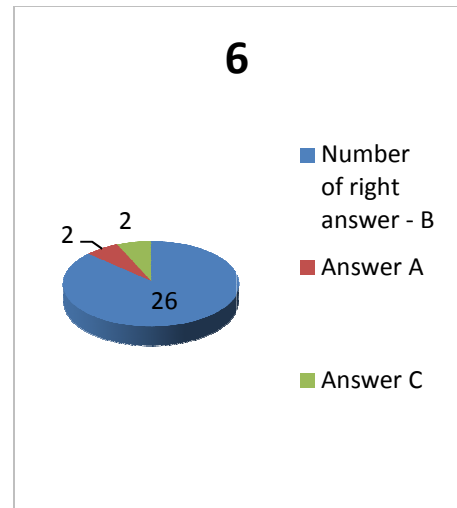


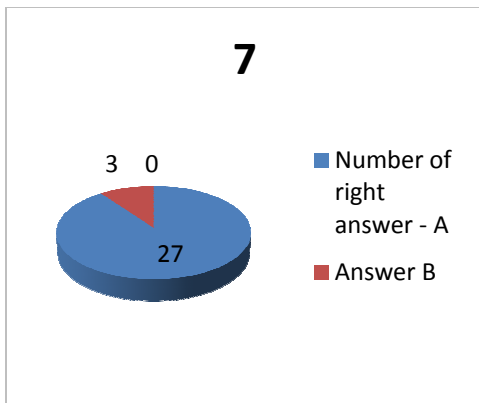
Fig.67. Answers for *question 4*



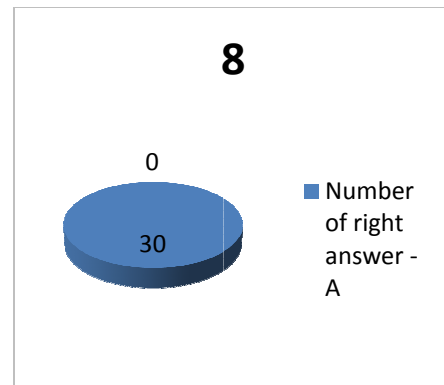
*Fig.68. Answers for question 5*



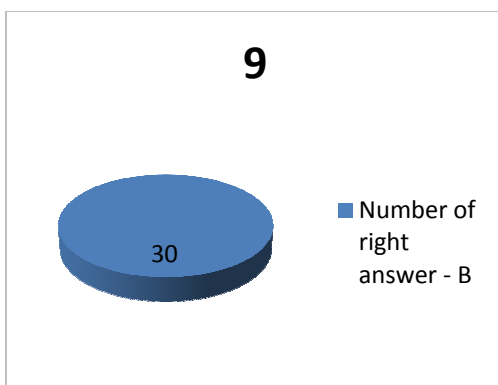
*Fig.69. Answers for question 6*



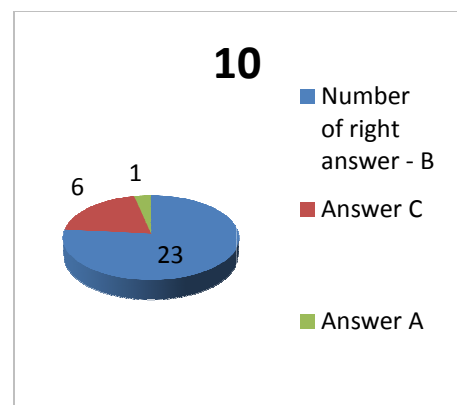
*Fig.70. Answers for question 7*



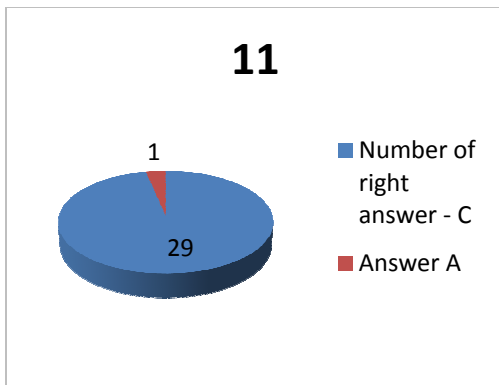
*Fig.71. Answers for question 8*



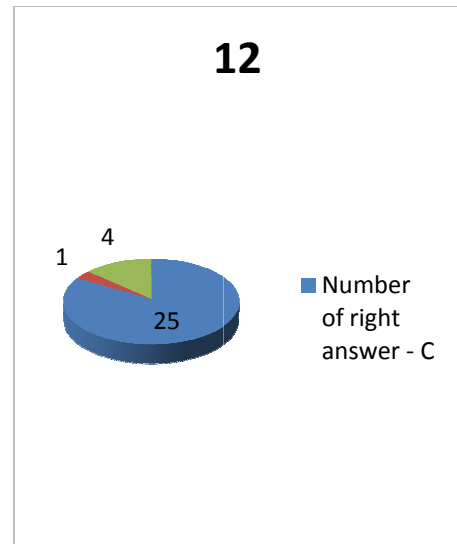
*Fig.72. Answers for question 9*



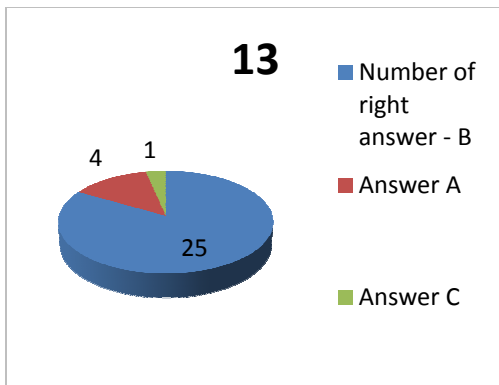
*Fig.73. Answers for question 10*



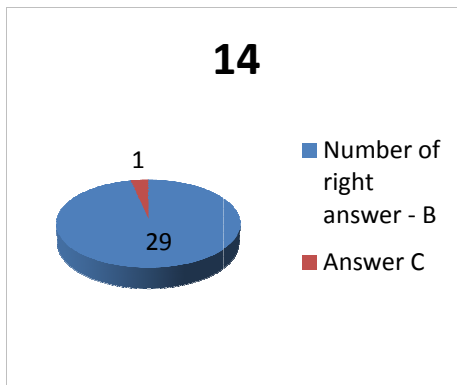
*Fig.74. Answers for question 11*



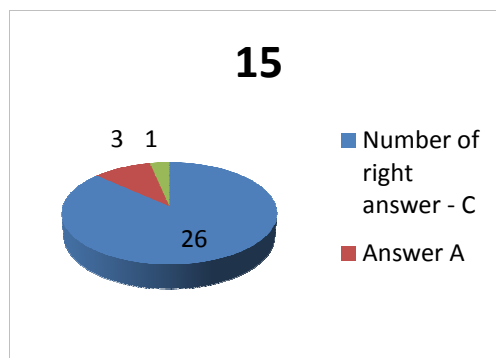
*Fig.75. Answers for question 12*



*Fig.76. Answers for question 13*



*Fig.77. Answers for question 14*



*Fig.78. Answers for question 15*

*(Final test for 30 pupils from 3<sup>rd</sup> year of Secondary School in Rzeszów;  
Date of research: 02.11. 2010).*

When one takes a look at fig. no. 64, one can say that all of pupils gave right answers to question number 1 (it's 100% of all answers from this class). It means that,

the probability of tossing a coin result is better known by pupils from this class than before running the lessons. When one takes a look at fig. no. 65, one can say that all of pupils from this class gave right answers to question number 2. It is more than number of right answers before running the lessons and more than all of right answers to this question from all schools (about 86%). It means that the rule of state lottery is known by pupils from this class very well. When one takes a look at fig. no. 66, one can say that there is a very few good answers to question number 3 (about 23%), but it is more than all of good answers from all classes (about 12%) and more than before running the lessons. It means that majority of these good answers came from Rzeszów. Question number 3 is more connected with reading with understanding, because the Physics information in this question refers to the 3<sup>rd</sup> educational stage and it should be known by pupils at this age. It is the same situation with question number 4 (Fig.67). There are more than half of all answers are good answers to question number 4 (about 70%) and it is more than all of good answers from all classes (about 53%). It means that majority of these good answers came from Rzeszów. Question number 4 is more connected with reading with understanding too, because the Physics information in this question refers to the 3<sup>rd</sup> educational stage and it should be known by pupils at this age. When one takes a look at fig. no. 68, one can say that almost all answers to the question number 5 are right answers (about 93%). This is more than all of right answers from all classes (about 86%) and more than before running the lessons. It means that the information about particle's energy are well known by pupils at this age especially from Rzeszów. When one takes a look at fig. no. 69, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 6 (about 87%) and more than all of good answers from all classes (about 83%). It means that the probability of finding the particle in a locked area concept is known very well by pupils after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 70, one can say that almost all of pupils from this class gave right answers to question number 7 (about 90%) and more than all of good answers from all classes (about 75%). It means that the quantum limitations of the particle's energy concept is the best known by pupils from Rzeszów. When one takes a look at fig. no. 71, one can say that all of pupils from this class gave right answers to question number 8 and it's more than all of good answers from all classes (about 93%). It means that the law about energy - law of conservation of energy, kinetic and potential energy concepts – is known very well by pupils at this class. When one takes a look at fig. no. 72, one can say that all of pupils from this class gave right answers to question

number 9 and it's more than all of good answers from all classes (about 67%). It means that the nature of tunnelling effect is known very well by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 73, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 10 (about 77%) and it's more than all of good answers from all classes (about 34%). It means that the probability of finding the moving particle is known very well by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 74, one can say that almost all of pupils from this class gave right answers to question number 11 (about 97%) and almost as many as all of good answers from all classes (96%). It means that the phenomenon of wave transition between two areas is well known by pupils at this stage. When one takes a look at fig. no. 75, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 12 (about 83%) and it's exactly as many as all of good answers from all classes (83%). It means that the nature of tunnelling effect is quite well known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 76, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 13 (83%) and it is more than all of good answers from all classes (about 73%). It means that the equation with wavefunction concept is known very well by pupils from this class after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 77, one can say that almost all of pupils from this class gave right answers to question number 14 (about 97%) and it is more than all of good answers from all classes (about 52%). It means that the nature of Heisenberg's uncertainty principle is known very well by pupils from this class after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 78, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 15 (about 87%) and it is more than all of good answers from all classes (about 57%). It means that the nature of electrons is known very well by pupils from this class after running the lessons.

Tab.12. Final test for 21 pupils  
from 3<sup>rd</sup> year of Vocational High School  
(Debica; date of research: 23.10. 2010)

No. of pupil	Number of question and its right answer														
	1 C	2 C	3 D	4 H	5 B	6 B	7 A	8 A	9 B	10 B	11 C	12 C	13 B	14 B	15 C
1	C	B	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	B	E	A
2	C	B	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	B	E	A
3	C	B	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	B	E	A
4	C	B	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	B	E	A
5	C	C	C	D	B	B	B	A	B	C	C	C	B	A	C
6	C	C	C	H	B	B	A	A	B	C	C	C	A	E	C
7	C	C	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	B	E	A
8	C	B	C	H	B	B	B	A	A	C	C	C	C	B	C
9	C	C	C	H	A	B	A	A	A	C	C	C	B	E	C
10	C	C	C	D	B	B	B	A	B	C	C	C	B	E	A
11	C	C	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	C	E	A
12	C	C	C	D	B	B	B	A	A	C	C	C	B	E	A
13	C	C	C	D	B	B	A	A	B	C	C	C	B	B	C
14	C	C	C	H	B	B	B	A	A	C	C	C	B	A	C
15	C	C	C	D	B	B	A	A	B	C	C	C	B	E	A
16	C	C	C	D	B	B	B	A	B	B	C	C	B	E	A
17	C	C	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	C	E	A
18	C	C	C	D	B	C	A	A	A	B	C	C	C	E	A
19	C	C	C	D	B	B	A	A	A	C	C	C	B	E	A
20	C	B	D	H	A	C	B	A	A	C	C	C	B	B	C
21	C	B	D	H	A	B	B	A	A	C	C	C	B	E	C
All answers:	21C	14C 7B	2D 19C	6H 15D	18B 3A	19B 2C	13A 8B	21A	6B 15A	2B 19C	21C	21C	16B 1A 4C	3B 2A 16E	8C 13A

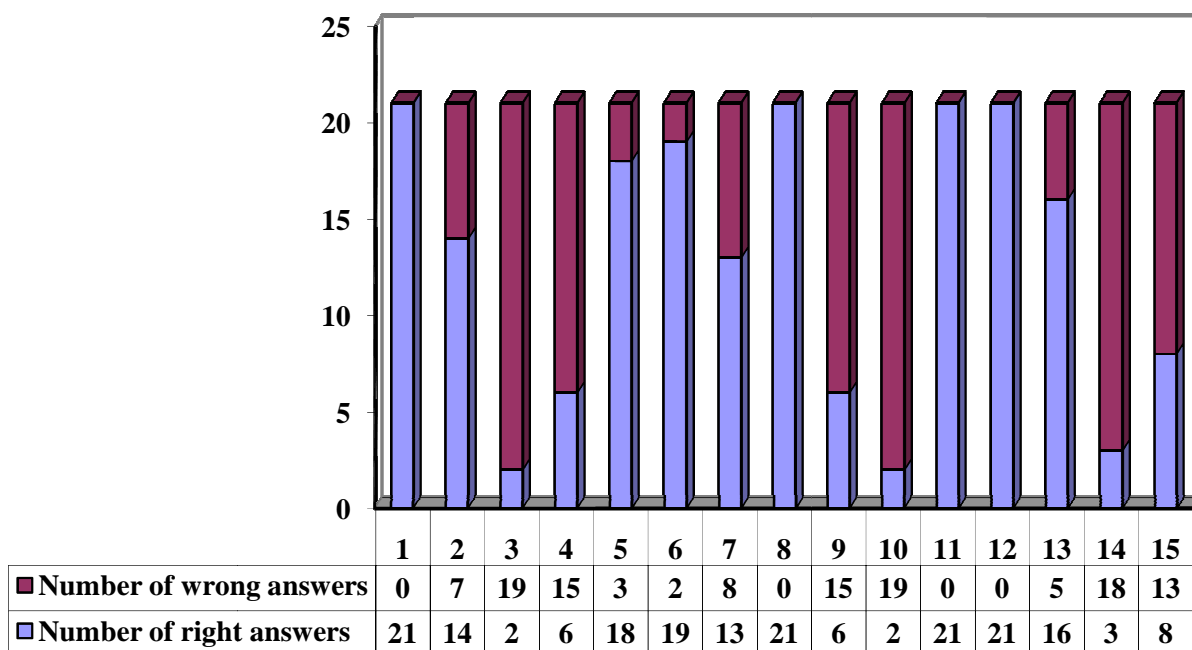
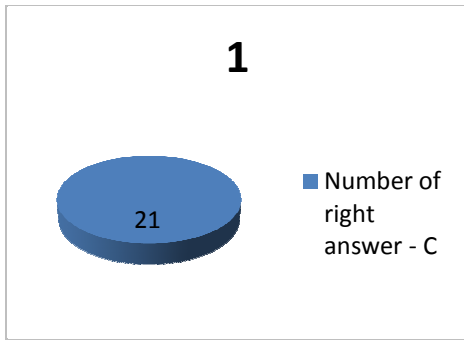
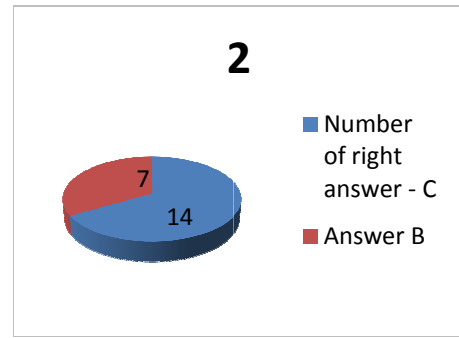


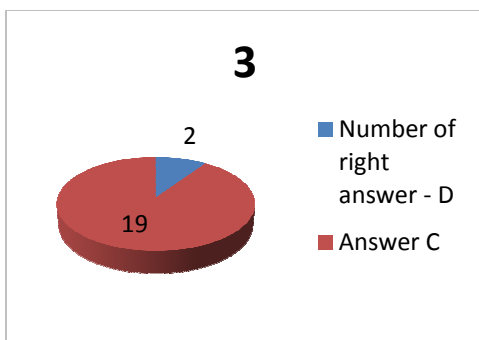
Fig.79. Final test for 21 pupils from 3<sup>rd</sup> year of Vocational High School  
(Debica; date of research: 23. 10. 2010). Graph shows the number of *right* and *wrong* answers .



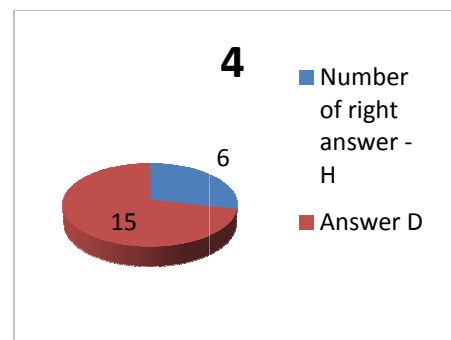
*Fig.80. Answers for question 1*



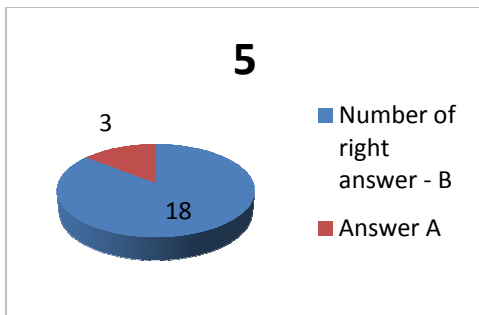
*Fig.81. Answers for question 2*



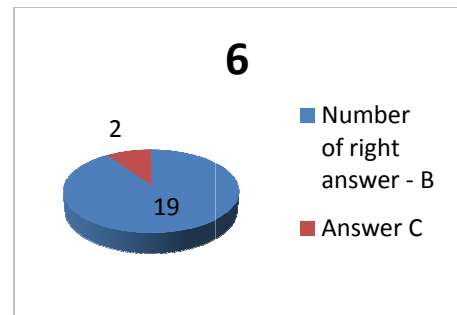
*Fig.82. Answers for question 3*



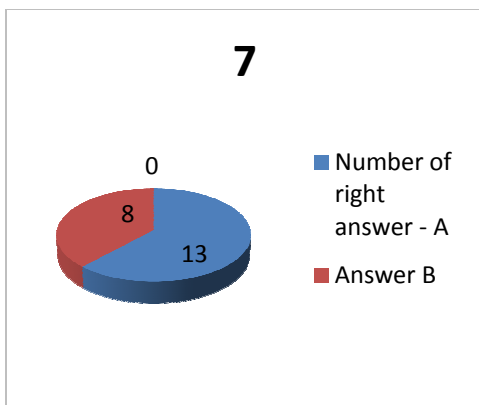
*Fig.83. Answers for question 4*



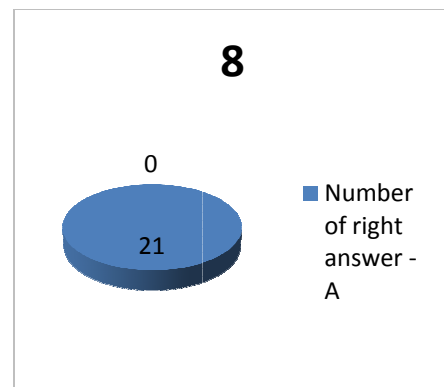
*Fig.84. Answers for question 5*



*Fig.85. Answers for question 6*



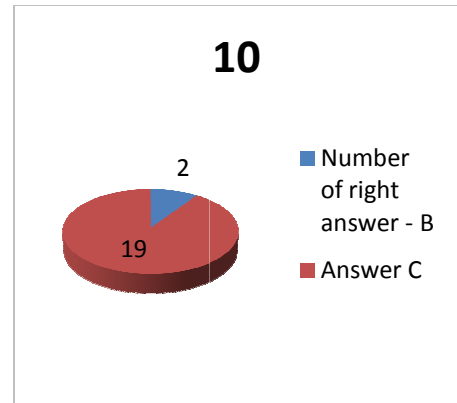
*Fig.86. Answers for question 7*



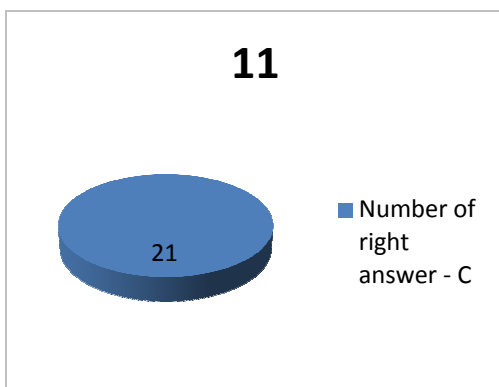
*Fig.87. Answers for question 8*



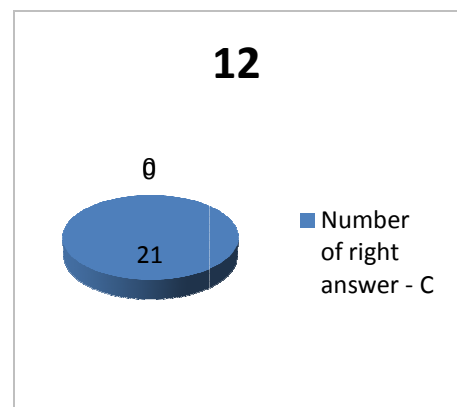
*Fig.88. Answers for question 9*



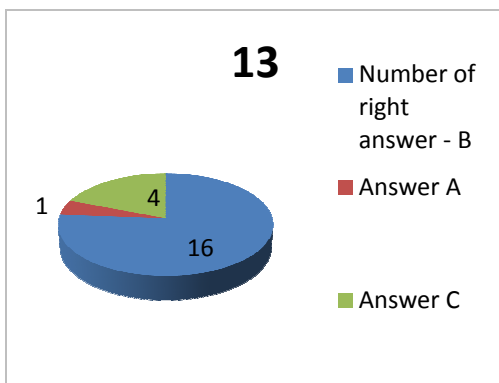
*Fig.89. Answers for question 10*



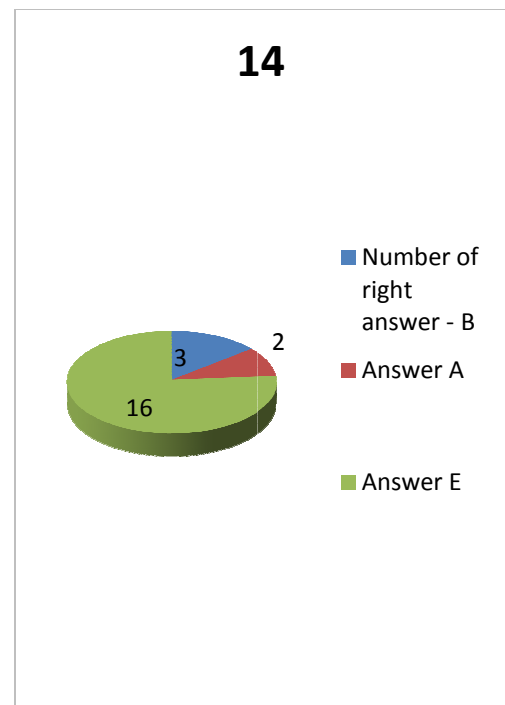
*Fig.90. Answers for question 11*



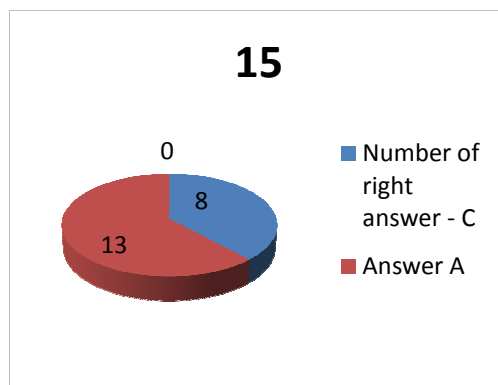
*Fig.91. Answers for question 12*



*Fig.92. Answers for question 13*



*Fig.93. Answers for question 14*



*Fig.94. Answers for question 15  
(Final test for 21 pupils from 3<sup>rd</sup> year of Vocational High School in Dębica - 23. 10. 2010)*

When one takes a look at fig. no. 80, one can say that all pupils from Dębica gave right answers to the question number 1. It means that, the probability of tossing a coin result is known at the same level than before running the lessons, because this class was the best from all of classes in the preliminary research. When one takes a look at fig. no. 81, he can say that more than half of all pupils from this class gave right answers to question number 2. It is about 67%, it is less than all of right answers from all of schools (about 86%). It means that rule of state lottery is the worst known by pupils from this class after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 82, one can say that there is a very few good answers to question number 3 (about 9%). The question number 3 is connected with reading with understanding, it means that the pupils from this class have small this ability in spite of running the lessons. It is the same situation with question number 4 (Fig.83). There is about 28% good answers to the question number 4, and it is the least than all of good answers from all classes (about 53%). Question number 4 is more connected with reading with understanding too. It means that the pupils from this class have small this ability in spite of running the lessons. When one takes a look at fig. no. 84, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 5 (86%). It is exactly as many as all of good answers from all classes (86%). It means that the information about particle's energy are well known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 85, one can say that almost all pupils from this class gave right answers to the question number 6 (about 90%) and it is the best result of all good answers from all classes (about 83%). It means that the probability of finding the particle in a locked area

concept is known the best by pupils from this class after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 86, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 7 (about 62%) and it is the worst result of all classes (about 75%). It means that the quantum limitations of the particle's energy concept is the worst known by pupils from Dębica, but it's better known than before running the lessons. When one takes a look at fig. no. 87, one can say that all of pupils from this class gave right answers to question number 8 and it is the best result of all classes (about 93%). It means that the law about energy - law of conservation of energy, kinetic and potential energy concepts – is known the best by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 88, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 9 (about 28%), it's the worst result from all classes after running the lessons and it's the worse result than before running the lessons for this class. It means that the nature of tunnelling effect is hardly known by pupils at this class in spite of running the lessons. When one takes a look at fig. no. 89, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 10 (about 9%). It's less than all of right answers from all of schools (about 34%) and it's worse result than before running the lessons for this class. It means that the probability of finding the moving particle is hardly known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 90, one can say that all of pupils from this class gave right answers to question number 11 and it is the best result from all of good answers from all classes (96%). It means that the phenomenon of wave transition between two areas is well known by pupils from Dębica after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 91, one can say that all of pupils from this class gave right answers to question number 12 and it is the best result from all of good answers from all classes (83%). It means that the nature of tunnelling effect is known the best by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 92, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 13 (76%) and it is more than all good answers from all classes (about 73%). It means that the equation with wavefunction concept is known very well by pupils from Dębica after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 93, one can say that is very few right answers to question number 14 from this class (only 14%) and it is the worst result of all good answers from all classes (about 52%). It means that the nature of Heisenberg's uncertainty principle is known the worst by the pupils at this class in spite of running the lessons. When one takes a look at fig. no. 94, one can say that less than half of pupils from this class gave

right answers to question number 15 (about 38%) and it's the worst result of all good answers from all classes (about 57%). It means that the nature of electrons is known the worst by pupils from Dębica.

*Tab.13. Final test for 26 pupils  
from 3<sup>rd</sup> year of Secondary School in Tomaszów Lubelski  
(Date of research: 19.10. 2010).*

No. of pupil	Number of question and its right answer														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	C	C	D	H	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B	C
1	C	C	C	H	B	C	A	A	B	B	C	C	B	E	C
2	C	C	C	D	B	B	A	A	B	C	C	C	B	B	C
3	C	C	A	H	B	B	A	B	A	C	C	B	A	A	A
4	C	B	C	D	B	B	A	A	B	C	C	B	A	C	B
5	C	C	E	H	B	B	A	A	B	C	C	B	B	E	A
6	C	C	E	H	A	B	B	A	B	C	C	C	B	B	A
7	C	B	C	A	B	B	A	A	B	C	C	A	B	E	A
8	C	C	C	H	B	B	A	A	B	C	C	B	B	C	A
9	C	C	E	H	B	C	A	A	C	C	C	C	B	B	C
10	C	C	C	H	B	B	A	A	B	C	C	C	B	B	C
11	C	B	C	D	A	B	C	A	A	C	A	C	C	E	C
12	C	C	C	H	B	B	A	A	A	C	C	A	C	A	A
13	C	C	C	D	B	B	A	C	B	C	C	C	B	E	A
14	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
15	C	C	C	D	B	C	A	C	A	A	C	C	B	E	A
16	C	C	C	H	C	B	B	A	B	C	C	C	B	B	C
17	C	C	C	H	B	B	A	A	B	C	C	A	B	E	A
18	C	C	C	D	B	B	B	A	A	C	C	C	A	E	B
19	C	C	C	H	A	A	C	A	B	A	C	C	C	A	A
20	C	C	E	D	B	B	A	A	A	C	A	A	C	E	A
21	C	C	C	H	A	B	B	A	B	C	C	C	B	B	A
22	C	C	C	D	B	C	A	C	B	C	C	C	A	B	A
23	C	C	C	H	B	B	A	A	A	C	C	C	C	A	A
24	C	C	C	H	B	C	B	A	B	C	C	C	B	B	C
25	C	C	C	B	B	B	A	A	B	C	C	C	C	A	C
26	C	B	C	D	B	B	A	A	A	A	C	C	B	A	C
All answers:	26C	22C 4B	0D 1A 21C 4E	14H 1A 1B 1C 9D	20B 4A 2C	19B 1A 6C	18A 5B 3C	21A 1B 4C	16B 8A 2C	1B 3A 22C	24C 2A	18C 4A 4B	15B 4A 7C	8B 6A 3C 9E	10C 14A 2B

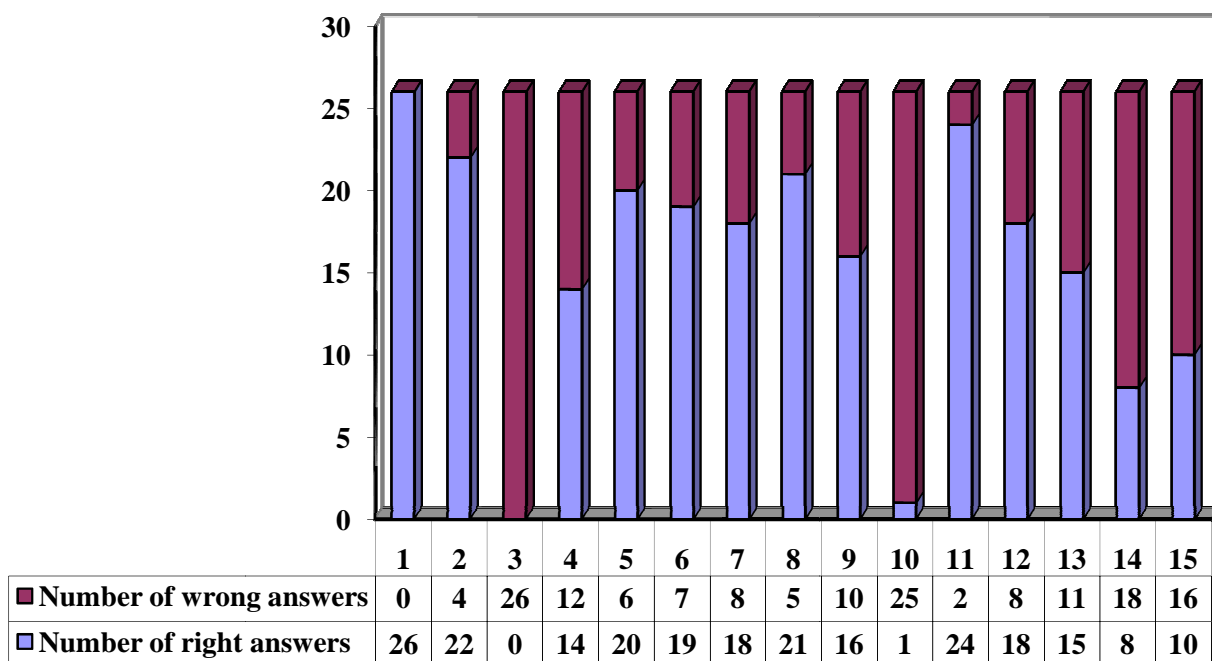


Fig.95. Final test for 26 pupils from 3<sup>rd</sup> year of Secondary School in Tomaszów Lubelski (Date of research: 19.10. 2010). Graph shows the number of *right* and *wrong* answers .

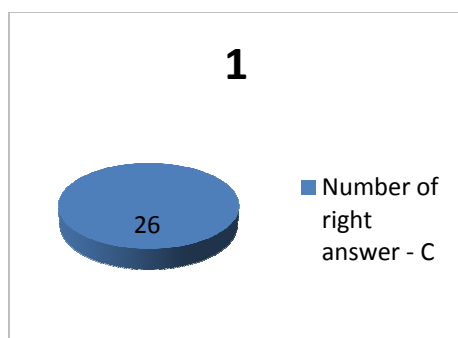


Fig.96. Answers for *question 1*

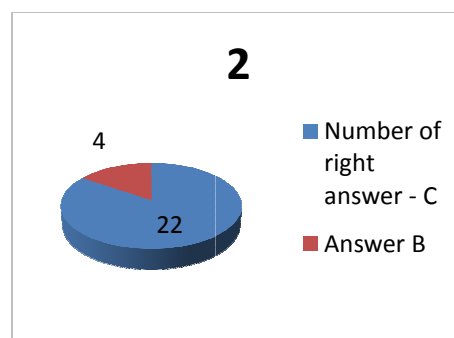


Fig.97. Answers for *question 2*

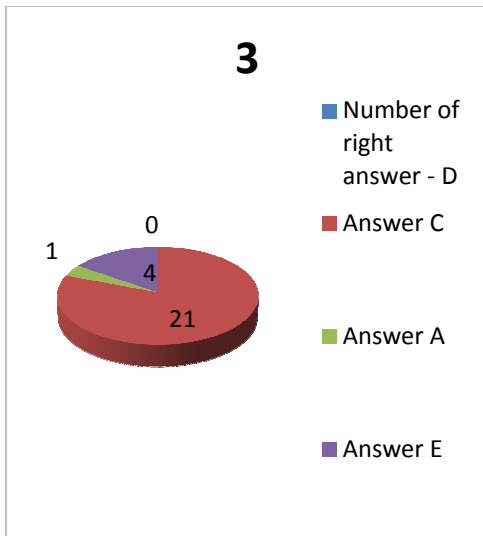


Fig.98. Answers for question 3

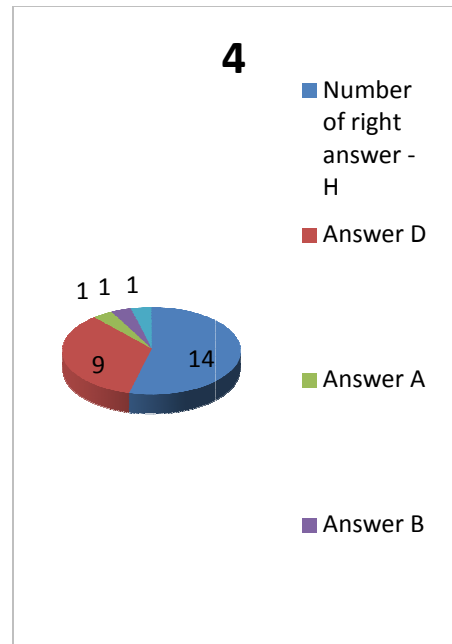


Fig.99. Answers for question 4

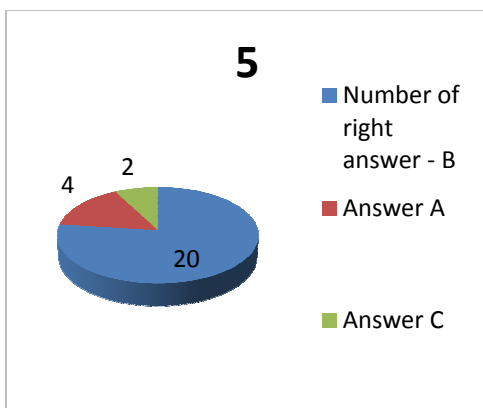


Fig.100. Answers for question 5

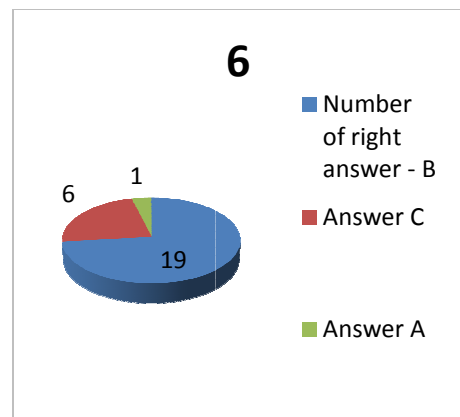


Fig.101. Answers for question 6

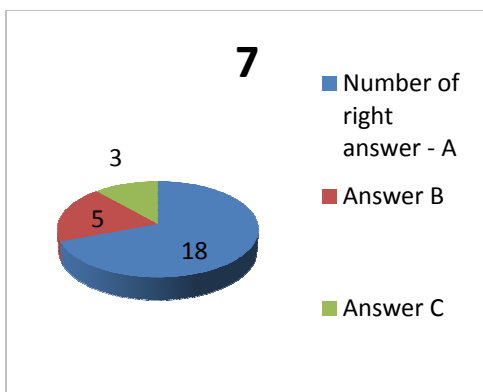


Fig.102. Answers for question 7

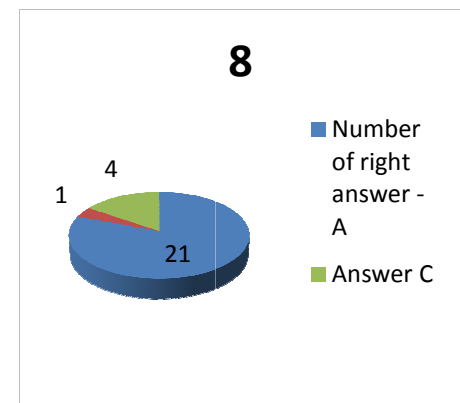


Fig.103. Answers for question 8

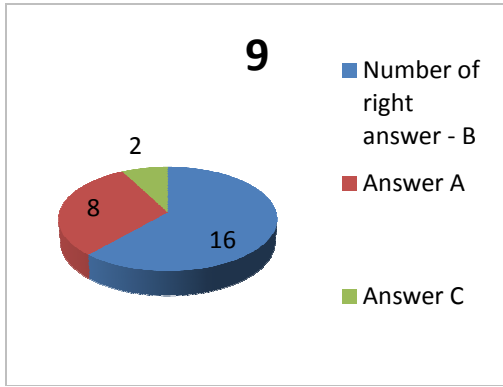


Fig.104. Answers for question 9

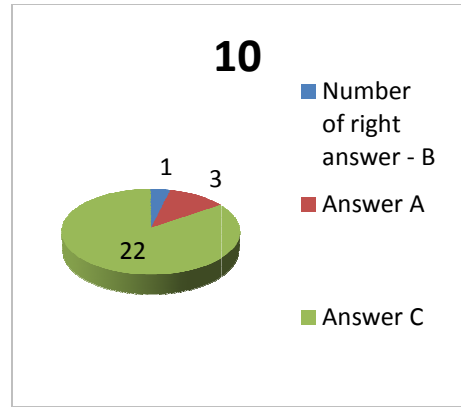


Fig.105. Answers for question 10

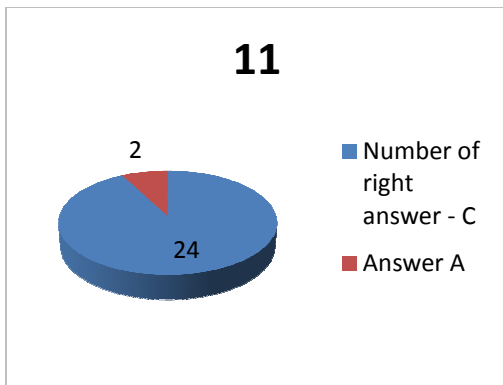


Fig.106. Answers for question 11

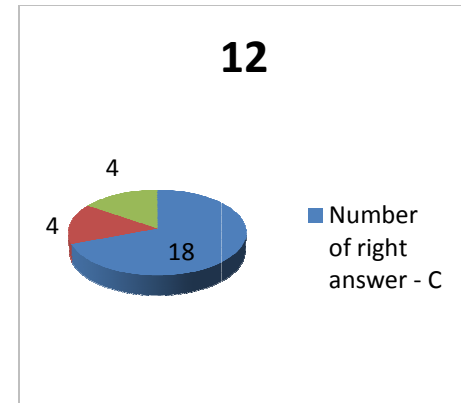


Fig.107. Answers for question 12

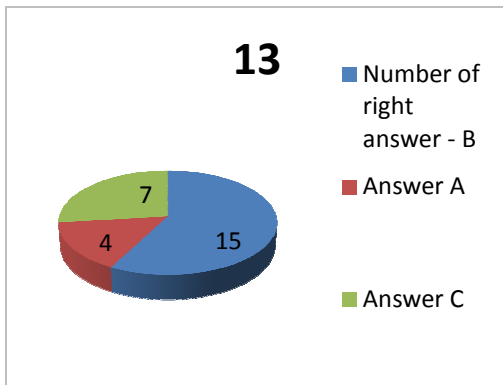


Fig.108. Answers for question 13

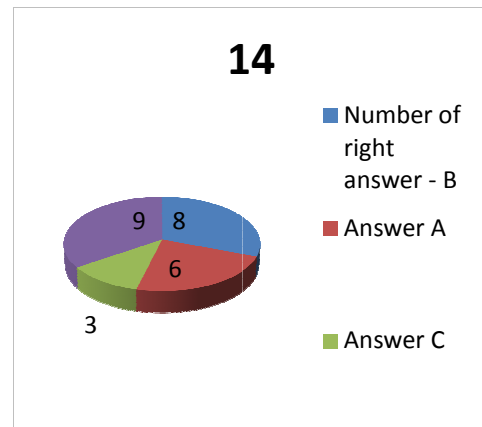
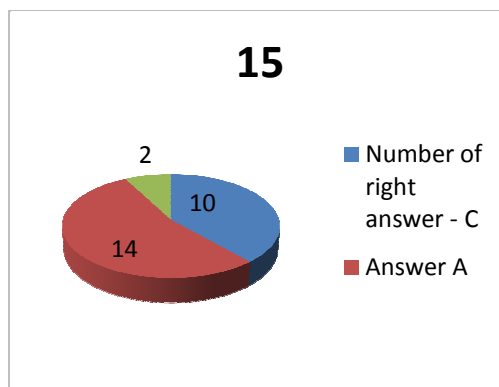


Fig.109. Answers for question 14



*Fig.110. Answers for question 15*

*(Final test for 26 pupils from 3<sup>rd</sup> year of of Secondary School in Tomaszów Lubelski;  
Date of research: 19.10. 2010)*

When one takes a look at fig. no. 96, one can say that all pupils from Tomaszów Lub. gave right answers to question number 1. It means that, the probability of tossing a coin result is known better than before running the lessons at this class. When one takes a look at fig. no. 97, one can say that more than half of all pupils from this class gave right answers to question number 2. It is about 85%, it is less than all of right answers from all of schools (about 86%). It means that rule of state lottery is known quite well by pupils from this class after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 98, one can say that there is any good answers to question number 3. Question number 3 is connected with reading with understanding. It means that the pupils from this class have small this ability in spite of running the lessons. It is the worst result from all classes. It is the same situation with question number 4 (Fig.99). There is about 54% good answers to question number 4, and it is more than all of good answers from all classes (about 53%). Question number 4 is more connected with reading with understanding too. It means that the pupils from this class have small this ability in spite of running the lessons. When one takes a look at fig. no. 100, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 5 (77%). It is less than all of right answers from all of schools (86%). It means that the information about particle's energy are quite well known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 101, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 6 (about 73%) and it is less than all of right answers from all of schools (about 83%). It means that the probability of finding the particle in a locked area concept is quite well known by pupils from this class after running the lessons. When one takes a

look at fig. no. 102, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 7 (about 69%) and it is the worse result than number of all right answers from all classes (about 75%). It means that the quantum limitations of the particle's energy concept is quite well known by pupils from Tomaszów Lub., but it's better known than before running the lessons. When one takes a look at fig. no. 103, one can say that almost all of pupils from this class gave right answers to question number 8 (about 81%) and it is the worst result of all classes (about 93%). It means that the law about energy - law of conservation of energy, kinetic and potential energy concepts – is quite well known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 104, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 9 (about 61%), it isn't the worst result from all classes after running the lessons and it isn't the worse result than before running the lessons for this class. It means that the nature of tunnelling effect is better known by pupils at this class after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 105, one can say that less than half of pupils from this class gave right answers to question number 10 (about 4%). It's less than all of right answers from all of schools (about 34%) and it's worse result than before running the lessons for this class. It means that the probability of finding the moving particle is hardly known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 106, one can say that almost all of pupils from this class gave right answers to question number 11 (about 92%) and it is the worst result from all of good answers from all classes (96%). It means that the phenomenon of wave transition between two areas is well known by pupils from Tomaszów Lub. after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 107, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 12 (about 69%) and it is the worst result from all of good answers from all classes (83%). It means that the nature of tunnelling effect is quite well known by pupils from this class. When one takes a look at fig. no. 108, one can say that more than half of pupils from this class gave right answers to question number 13 (58%) and it is less than all good answers from all classes (about 73%). It means that the equation with wavefunction concept is known the worst by pupils from Tomaszów Lub. after running the lessons. When one takes a look at fig. no. 109, one can say that is less than half of pupils gave right answers to question number 14 (about 31%) and it is less than all of good answers from all classes (about 52%). It means that the nature of Heisenberg's uncertainty principle is not well known by the pupils at this class in spite of running the lessons. When one takes a look at fig. no. 110, one can say that less than

half of pupils from this class gave right answers to question number 15 (about 38%) and it's the worst result of all good answers from all classes (about 57%). It means that the nature of electrons is known the worst by pupils from Tomaszów Lub.

As one can see the class from Rzeszów was the best in answers to the 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14 and 15 test questions (Fig. no. 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77 and 78). The class from Dębica was the best in answers to the 1, 6, 8, 11, and 12 test questions (Fig. 80, 85, 87, 90, 91). The class from Tomaszów Lub. was only the best in answers to the 1 test questions (Fig. 96). Even that the class from Tomaszów Lub., which is the most connected with subject of research (Information technology class), they were worse than class from Dębica and Rzeszów after running the lessons in the final test. (in 4 questions was the best). The class from Rzeszów was the best in the largest of number of test questions.

The class from Rzeszów has 86% of right answers in final test and it is double more than number of right answers in preliminary test – 43%. Class from Dębica has 60% of right answers in final test and it is more than number of right answers in preliminary test – 42%. Class from Tomaszów Lub. has 59% of right answers in final test and it is more than number of right answers in preliminary test – 40% of right answers. It means that the scienceoriented class from Rzeszów has the best result in numbers of right answers in final test from all classes. For class from Rzeszów – it is the largest difference between preliminary test result and final test result from all classes.

The results of final test depends on type of class profile, which is connected with number of Physics lessons in every class (scienceoriented class from Rzeszów has the largest of number of Physics lessons per week than the others).

Conclusion: results of research depends on type of class, because scienceoriented class from Rzeszów was the best in final test results, the electrician and car mechanic profiled class from Dębica was the next and information technology class from Tomaszów Lub was the worst than the others.

I've taken into account the second category in my research:

II. Different backgrounds (big city, small town and village)

Class from Rzeszów (the biggest town in the research) has the best result in numbers of right answers in final test from all classes. Class from Tomaszów Lub. (the

smallest town in the research) was the worst in the final test. It means that the backgrounds seems to be important at the research.

Conclusion: results of research depends on backgrounds. It may seem that it doesn't matter in times with the internet and globalization.

I've taken into account the third category in my research:

### III. Average mark in a classes

Result of final test is very different than result of preliminary test and it is more better in every class. It means that when we have the result of preliminary test and the result of final test we can calculate the rate of knowledge growth. The rate of knowledge growth is a rate, which shows, in percent, how much the level of knowledge was changed during the educational process. Measure of this rate is average of rate of knowledge growth for group of pupils in the research. We can write the rate of knowledge growth as:

$$\text{rate of knowledge growth (RKG)} = \frac{\text{result of final test} - \text{result of preliminary test}}{\text{result possible to achievement} - \text{result of preliminary test}} \%$$

[3]

We get for every class following rate of knowledge growth:

$$\begin{aligned} \text{RKG}_R &= \frac{86-43}{47-43} \% = 10,7\% && \text{- for class from Rzeszów;} \\ \text{RKG}_D &= \frac{60-42}{53-42} \% = 1,6\% && \text{- for class from Dębica;} \\ \text{RKG}_{TL} &= \frac{59-40}{42-40} \% = 9,5\% && \text{- for class from Tomaszów Lub.} \end{aligned}$$

I have taken into account the average mark from Physics as a result possible to achievement.

Conclusions:

The result of research doesn't depend on average mark at Physics. The highest rate of knowledge growth is in class from Rzeszów, who had average between class from Dębica and class from Tomaszów Lub.

The working hypothesis for introducing nanotechnology elements was proved and: “one can introduce the basic nanotechnology terms into a high school physics syllabus”.

## **Conclusion**

The nanophysics’ achievements open up the perspectives of introducing the basic concepts of this sphere into physics core curriculum at high school. It is necessary to familiarise the pupils with the fundamental concepts of quantum mechanics for the better understanding the principles which rule the microworld. The introduction of suggested contents of teaching is possible only on high school level, when the abstract thinking plays a vital role, that is terms operations, deduction from hypotheses, not only from observations. The main aim of doctoral thesis is the achieving by pupils the skill of wide – spread perception of the world and getting to know the main ideas of physics progress.

The object of the doctoral thesis was nanotechnology terms simplification, which consists in a skill of showing the physics terms in order to avoid formalisation and too much abstraction. Nanotechnology concepts should be mathematical easier, introduced by given the experiments as examples, easier language, replacement the proofs by arguments and should be showed by using thinking experiments and avoiding general situations and replacing them by examples. The concepts showed this way can be introducing to the core curriculum.

The analysis of the topics was made in this doctoral thesis. It means that I made the precise records of the goals, prepared the list of basic theorems and prepared the “didactic matrix”. After that I made:

- survey carried out among physics teachers to get acquainted with their opinions about introducing the elements of nanotechnology to high school curriculum;
- the natural research in three high schools from three places to reflect the different backgrounds (Rzeszów, Dębica and Tomaszów Lub.) with:
  - preliminary test
  - lessons
  - electronic handbook
  - and final test.

Preliminary test shows that the pupils' knowledge level and skill of microworld behaviour analysis are low.

Electronic handbook (annex no.6) was useful for these pupils, who were absent on nanotechnology lessons and for revision.

Final test shows great rate of knowledge growth, which proves that the way of introducing concepts like this – showed in doctoral thesis – is right way to assimilate the nanotechnology basic elements by pupils.

The results of final test depends on type of class profile, which is connected with number of Physics lessons in every class (scienceoriented class from Rzeszów has the largest of number of Physics lessons per week than the others). Results of research depends on backgrounds.

The result of research doesn't depend on average mark at Physics. The highest rate of knowledge growth is in class from Rzeszów, who had average between class from Dębica and class from Tomaszów Lub.

The working hypothesis for introducing nanotechnology elements was proved and: "one can introduce the basic nanotechnology terms into a high school physics syllabus".

Next research can be conducted on the larger population of pupils. Pupils can be tested only after running the lessons and only after studying electronic handbook. It will be the guideline for the nanotechnology distance learning.

## **References:**

- [1] BARDEEN J., *Tunneling for many - particle point of view*, Physical Review Letters, 6, 57 (1961).
- [2] BIAŁKOWSKI G., *Mechanika Kwantowa – o czym to jest?*, Warszawa 1989, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne.
- [3] BRAMLEY P., *Ocena efektywności szkoleń*. 2007, Kraków, Wolter Kluwer buissness
- [4] DAWYDOW A. S., *Mechanika Kwantowa*, Warszawa 1967, Państwowe Wydawnictwo Naukowe
- [5] FEYNMAN Richard P., LEIGHTON Robert B., SANDS Matthew, *The Feynman Lectures on Physics. Vol. 3 Quantum mechanics*, Narosa Publishing House, 1965.
- [6] FEYNMAN Richard, „*There's Plenty of Room at the Bottom*”,  
<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- [7] GAWLIK Wojciech, *Fizyka zimnych atomów: temperatury niższe niż w kosmosie*, Postępy fizyki, 53D/2002
- [8] GOSER K., GLÖSEKÖTTER P., DIENSTUHL J., *Nanoelectronics and Nanosystems*. Springer 2003
- [9] JAWORSKI B., DIETŁAF A., *Kurs fizyki. Tom III. Procesy falowe. Optyka. Fizyka atomowa i jądrowa.*, PWN Warszawa 1984
- [10] KLISOWSKA Małgorzata, „*Elementy mechaniki kwantowej dla nauczycieli*”, Rzeszów 2001
- [11] KOZUBAL Michał, „*Struktury niskowymiarowe*”,  
<http://tempac.fuw.edu.pl/~mskozub/seminarium/ppt/sn.ppt>
- [12] KOZUBOWSKI Jan A., „*Nanotechnologia*”, <http://em.pwn.pl/nauka/artykuly>
- [13] KOZUBOWSKI Jan A., „*Perspektywy nanotechnologii*”, Wiedza i Życie, 1998 nr 10
- [14] KUBBY J.A., BOLAND J.J., *Scanning tunneling microscopy of semiconductors surfaces*, Surface Science Reports, 26, 61-204 (1996).
- [15] KWIECIŃSKI Zbigniew, ŚLIWERSKI Bogusław, *Pedagogika 2 (podręcznik akademicki)*; Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003;
- [16] LASONŃ Piotr, *Nanotechnologia*, <http://www.open-mind.pl/Ideas/Nanot.php>, Wrocław 2000

- [17] LEWICKI Bartosz, „*Mała rzecz a cieszy*”,  
[www.trybuna.com.pl/przeгляд/przeгляд/.htm?id=b204](http://www.trybuna.com.pl/przeгляд/przeгляд/.htm?id=b204)
- [18] ŁUKÓW P., *Skazani na naukę*, Świat Nauki, czerwiec 2007
- [19] MALIM T., BIRCH A. *Introductory Psychology*, Macmillan Press, UK 1998
- [20] MILBURN Gerard J., *Quantum Technology*, Allen& Unwin, Sidney, 1996
- [21] MILBURN Gerard J., *The Feynman Processor: Quantum Entanglement and the Computing Revolution*, Perseus Books, Sidney, 1998
- [22] MILISZKIEWICZ Janina, *Przykład koncepcji badań nad programowanym nauczaniem fizyki*, Zeszyty Naukowe Wydziału Matematyki, Fizyki, Chemii ”Problemy Dydaktyki Fizyki” Uniwersytetu Gdańskiego, nr 1 , 1973r.
- [23] PECUL Magdalena, „*Nanorurki i nanotechnologia*”, Młody Technik, 1998 nr 6
- [24] PIAGET Jean, „*Studia z psychologii dziecka*”; Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006;
- [25] *Podstawa programowa kształcenia ogólnego w szkole średniej*, ze stron CKE:  
<http://www.cke.edu.pl/>
- [26] *Podstawa programowa z komentarzami 2009 r. edukacja przyrodnicza w szkole podstawowej, gimnazjum i liceum (przyroda, geografia, biologia, chemia, fizyka)*.
- [27] PUSTOWAŁOW G. E., „*Fizyka jądrowa i atomowa*”, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1977
- [28] REGIS Ed, „*Nanotechnologia. Narodziny nowej nauki, czyli świat cząsteczka po cząsteczce*”, Prószyński i S-ka.
- [29] ROHRER H., *Limits and Possibilities of Miniaturization*, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.32 (1993), P.1
- [30] ROPKA J., WRÓBEL B., WOLNY J., *Skok potencjału. Bariera potencjału. Zjawisko tunelowania*, <http://novell.ftj.agh.edu.pl/~wolny/Wc6f8a2859ebb0.htm>
- [31] TERSOFF J., HAMANN D.R., *Theory and Application for the Scanning Tunneling Microscopy* , Physical Review Letters, 50, 1998 (1998).
- [32] WHITESIDES G.M., LOVE J. Christopher, „*Sztuka budowania bardzo małych struktur*”, Świat Nauki, 2001 nr 11;
- [33] WRÓBLEWSKI Andrzej K., „*Igraszki z atomami*”, Wiedza i Życie, 1998 nr 1
- [34] ZACHOROWSKI J., GAWLIK W., *Bose-Einstein Condensation in Atomic Gases*, Acta Phys. Polon. A 102, 577-596 (2002)

[35] ZACZYŃSKI W., *Praca badawcza nauczyciela, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1995*

WWW sides:

- [36] [http://www.ks.uiuc.edu/Research/atp\\_hydrolysis/](http://www.ks.uiuc.edu/Research/atp_hydrolysis/)
- [37] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Nanorurka>
- [38] <http://www.nanonet.pl>
- [39] <http://www.ostm.umcs.lublin.pl/content/view/32/68/>
- [40] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologia>
- [41] [http://en.wikipedia.org/wiki/Schr%C3%B6dinger\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Schr%C3%B6dinger_equation)
- [42] [http://en.wikipedia.org/wiki/State\\_vector](http://en.wikipedia.org/wiki/State_vector)
- [43] <http://en.wikipedia.org/wiki/Probability>
- [44] [http://en.wikipedia.org/wiki/Potential\\_Step](http://en.wikipedia.org/wiki/Potential_Step)
- [45] [http://en.wikipedia.org/wiki/Potential\\_barrier](http://en.wikipedia.org/wiki/Potential_barrier)
- [46] [http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_tunnelling](http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_tunnelling)
- [47] [http://en.wikipedia.org/wiki/Uncertainty\\_principle](http://en.wikipedia.org/wiki/Uncertainty_principle)
- [48] [http://en.wikipedia.org/wiki/Matter\\_wave](http://en.wikipedia.org/wiki/Matter_wave)
- [49] [http://en.wikipedia.org/wiki/Particle\\_in\\_a\\_box](http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_in_a_box)
- [50] [http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_well](http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_well)
- [51] [http://en.wikipedia.org/wiki/Density\\_of\\_states](http://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_states)
- [52] <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanocircuitry>
- [53] [http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_nanotube](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube)

---

## PODSTAWA PROGRAMOWA PRZEDMIOTU FIZYKA

### IV etap edukacyjny – zakres podstawowy

- I. Wykorzystanie wielkości fizycznych do opisu poznanych zjawisk lub rozwiązania prostych zadań obliczeniowych.
  - II. Przeprowadzanie doświadczeń i wyciąganie wniosków z otrzymanych wyników.
  - III. Wskazywanie w otaczającej rzeczywistości przykładów zjawisk opisywanych za pomocą poznanych praw i zależności fizycznych.
  - IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy przeczytanych tekstów (w tym popularno-naukowych).
1. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:
    - 1) opisuje ruch jednostajny po okręgu, posługując się pojęciem okresu i częstotliwości;
    - 2) opisuje zależności między siłą dośrodkową a masą, prędkością liniową i promieniem oraz wskazuje przykłady sił pełniących rolę siły dośrodkowej;
    - 3) interpretuje zależności między wielkościami w prawie powszechnego ciężenia dla mas punktowych lub rozłącznych kul;
    - 4) wyjaśnia, na czym polega stan nieważkości, i podaje warunki jego występowania;
    - 5) wyjaśnia wpływ siły grawitacji Słońca na ruch planet i siły grawitacji planet na ruch ich księżyców, wskazuje siłę grawitacji jako przyczynę spadania ciał na powierzchnię Ziemi;
    - 6) posługuje się pojęciem pierwszej prędkości kosmicznej i satelity geostacjonarnej; opisuje ruch sztucznych satelitów wokół Ziemi (jakościowo), wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową, wyznacza zależność okresu ruchu od promienia orbity (stosuje III prawo Keplera);
    - 7) wyjaśnia, dlaczego planety widziane z Ziemi przesuwają się na tle gwiazd;
    - 8) wyjaśnia przyczynę występowania faz i zaćmień Księżyca;
    - 9) opisuje zasadę pomiaru odległości z Ziemi do Księżyca i planet opartą na paralaksie i zasadę pomiaru odległości od najbliższych gwiazd opartą na paralaksie rocznej, posługuje się pojęciem jednostki astronomicznej i roku świetlnego;
    - 10) opisuje zasadę określania orientacyjnego wieku Układu Słonecznego;
    - 11) opisuje budowę Galaktyki i miejsce Układu Słonecznego w Galaktyce;
    - 12) opisuje Wielki Wybuch jako początek znanego nam Wszechświata; zna przybliżony wiek Wszechświata, opisuje rozszerzanie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk).

---

**Cele kształcenia  
– wymagania  
ogólne**

---

**Treści nauczania  
– wymagania  
szczegółowe**

---

## 2. Fizyka atomowa. Uczeń:

- 1) opisuje promieniowanie ciał, rozróżnia widma ciągłe i liniowe rozrzedzonych gazów jednoatomowych, w tym wodoru;
- 2) interpretuje linie widmowe jako przejścia między poziomami energetycznymi atomów;
- 3) opisuje budowę atomu wodoru, stan podstawowy i stany wzbudzone;
- 4) wyjaśnia pojęcie fotonu i jego energii;
- 5) interpretuje zasadę zachowania energii przy przejściach elektronu między poziomami energetycznymi w atomie z udziałem fotonu;
- 6) opisuje efekt fotoelektryczny, wykorzystuje zasadę zachowania energii do wyznaczenia energii i prędkości fotoelektronów.

## 3. Fizyka jądrowa. Uczeń:

- 1) posługuje się pojęciami pierwiastek, jądro atomowe, izotop, proton, neutron, elektron; podaje skład jądra atomowego na podstawie liczby masowej i atomowej;
- 2) posługuje się pojęciami: energii spoczynkowej, deficytu masy i energii wiązania; oblicza te wielkości dla dowolnego pierwiastka układu okresowego;
- 3) wymienia właściwości promieniowania jądrowego  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ; opisuje rozpady alfa, beta (wiadomości o neutrinach nie są wymagane), sposób powstawania promienicwania gamma; posługuje się pojęciem jądra stabilnego i niestabilnego;
- 4) opisuje rozpad izotopu promieniotwórczego, posługując się pojęciem czasu połowicznego rozpadu; rysuje wykres zależności liczby jąder, które uległy rozpadowi od czasu; wyjaśnia zasadę datowania substancji na podstawie składu izotopowego, np. datowanie węglem  $^{14}\text{C}$ ;
- 5) opisuje reakcje jądrowe, stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku oraz zasadę zachowania energii;
- 6) opisuje wybrany sposób wykrywania promieniowania jonizującego;
- 7) wyjaśnia wpływ promieniowania jądrowego na materię oraz na organizmy;
- 8) podaje przykłady zastosowania zjawiska promieniotwórczości i energii jądrowej;
- 9) opisuje reakcję rozszczepienia uranu  $^{235}\text{U}$  zachodzącą w wyniku pochłonięcia neutronu; podaje warunki zajścia reakcji łańcuchowej;
- 10) opisuje działanie elektrowni atomowej oraz wymienia korzyści i zagrożenia płynące z energetyki jądrowej;
- 11) opisuje reakcje termojądrowe zachodzące w gwiazdach oraz w bombie wodorowej.

## PODSTAWA PROGRAMOWA PRZEDMIOTU FIZYKA

### IV etap edukacyjny – zakres rozszerzony

- I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.
- II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści.
- III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.
- IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.
- V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.

#### 1. Ruch punktu materialnego. Uczeń:

- 1) rozróżnia wielkości wektorowe od skalarnych; wykonuje działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe);
- 2) opisuje ruch w różnych układach odniesienia;
- 3) oblicza prędkości względne dla ruchów wzdłuż prostej;
- 4) wykorzystuje związki pomiędzy położeniem, prędkością i przyspieszeniem w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym do obliczania parametrów ruchu;
- 5) rysuje i interpretuje wykresy zależności parametrów ruchu od czasu;
- 6) oblicza parametry ruchu podczas swobodnego spadku i rzutu pionowego;
- 7) opisuje swobodny ruch ciał, wykorzystując pierwszą zasadę dynamiki Newtona;
- 8) wyjaśnia ruch ciał na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona;
- 9) stosuje trzecią zasadę dynamiki Newtona do opisu zachowania się ciał;
- 10) wykorzystuje zasadę zachowania pędu do obliczania prędkości ciał podczas zderzeń niesprężystych i zjawiska odrzutu;
- 11) wyjaśnia różnice między opisem ruchu ciał w układach inercjalnych i nieinercjalnych, posługuje się siłami bezwładności do opisu ruchu w układzie nieinercjalnym;
- 12) posługuje się pojęciem siły tarcia do wyjaśniania ruchu ciał;
- 13) składa i rozkłada siły działające wzdłuż prostych nierównoległych;
- 14) oblicza parametry ruchu jednostajnego po okręgu; opisuje wektory prędkości i przyspieszenia dośrodkowego;
- 15) analizuje ruch ciał w dwóch wymiarach na przykładzie rzutu poziomego.

**Cele kształcenia  
– wymagania  
ogólne**

**Treści nauczania  
– wymagania  
szczegółowe**

---

2. Mechanika bryły sztywnej. Uczeń:

- 1) rozróżnia pojęcia: punkt materialny, bryła sztywna, zna granice ich stosowalności;
- 2) rozróżnia pojęcia: masa i moment bezwładności;
- 3) oblicza momenty sił;
- 4) analizuje równowagę brył sztywnych, w przypadku gdy siły leżą w jednej płaszczyźnie (równowaga sił i momentów sił);
- 5) wyznacza położenie środka masy;
- 6) opisuje ruch obrotowy bryły sztywnej wokół osi przechodzącej przez środek masy (prędkość kątowa, przyspieszenie kątowe);
- 7) analizuje ruch obrotowy bryły sztywnej pod wpływem momentu sił;
- 8) stosuje zasadę zachowania momentu pędu do analizy ruchu;
- 9) uwzględnia energię kinetyczną ruchu obrotowego w bilansie energii.

3. Energia mechaniczna. Uczeń:

- 1) oblicza pracę siły na danej drodze;
- 2) oblicza wartość energii kinetycznej i potencjalnej ciał w jednorodnym polu grawitacyjnym;
- 3) wykorzystuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczania parametrów ruchu;
- 4) oblicza moc urządzeń, uwzględniając ich sprawność;
- b) stosuje zasadę zachowania energii oraz zasadę zachowania pędu do opisu zderzeń sprężystych i niesprężystych.

4. Grawitacja. Uczeń:

- 1) wykorzystuje prawo powszechnego ciążenia do obliczenia siły oddziaływań grawitacyjnych między masami punktowymi i sferycznie symetrycznymi;
- 2) rysuje linie pola grawitacyjnego, rozróżnia pole jednorodne od pola centralnego;
- 3) oblicza wartość i kierunek pola grawitacyjnego na zewnątrz ciała sferycznie symetrycznego;
- 4) wyprowadza związek między przyspieszeniem grawitacyjnym na powierzchni planety a jej masą i promieniem;
- 5) oblicza zmiany energii potencjalnej grawitacji i wiąże je z pracą lub zmianą energii kinetycznej;
- 6) wyjaśnia pojęcie pierwszej i drugiej prędkości kosmicznej; oblicza ich wartości dla różnych ciał niebieskich;
- 7) oblicza okres ruchu satelitów (bez napędu) wokół Ziemi;
- 8) oblicza okresy obiegu planet i ich średnie odległości od gwiazdy, wykorzystując III prawo Keplera dla orbit kołowych;
- 9) oblicza masę ciała niebieskiego na podstawie obserwacji ruchu jego satelity.

b. Termodynamika. Uczeń:

- 1) wyjaśnia założenia gazu doskonałego i stosuje równanie gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) do wyznaczenia parametrów gazu;
  - 2) opisuje przemianę izotermiczną, izobaryczną i izochoryczną;
  - 3) interpretuje wykresy ilustrujące przemiany gazu doskonałego;
  - 4) opisuje związek pomiędzy temperaturą w skali Kelwina a średnią energią kinetyczną cząsteczek;
  - 5) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki, odróżnia przekaz energii w formie pracy od przekazu energii w formie ciepła;
  - 6) oblicza zmianę energii wewnętrznej w przemianach izobarycznej i izochorycznej oraz pracę wykonaną w przemianie izobarycznej;
  - 7) posługuje się pojęciem ciepła molowego w przemianach gazowych;
  - 8) analizuje pierwszą zasadę termodynamiki jako zasadę zachowania energii;
  - 9) interpretuje drugą zasadę termodynamiki;
  - 10) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych w oparciu o wymieniane ciepło i wykonaną pracę;
  - 11) odróżnia wrzenie od parowania powierzchniowego; analizuje wpływ ciśnienia na temperaturę wrzenia cieczy;
  - 12) wykorzystuje pojęcie ciepła właściwego oraz ciepła przemiany fazowej w analizie bilansu cieplnego.
6. Ruch harmoniczny i fale mechaniczne. Uczeń:
- 1) analizuje ruch pod wpływem sił sprężystych (harmonicznym), podaje przykłady takiego ruchu;
  - 2) oblicza energię potencjalną sprężystości;
  - 3) oblicza okres drgań ciężarka na sprężynie i wahadła matematycznego;
  - 4) interpretuje wykresy zależności położenia, prędkości i przyspieszenia od czasu w ruchu drgającym;
  - 5) opisuje drgania wymuszone;
  - 6) opisuje zjawisko rezonansu mechanicznego na wybranych przykładach;
  - 7) stosuje zasadę zachowania energii w ruchu drgającym, opisuje przemiany energii kinetycznej i potencjalnej w tym ruchu;
  - 8) stosuje w obliczeniach związek między parametrami fali: długością, częstotliwością, okresem, prędkością;
  - 9) opisuje załamanie fali na granicy ośrodków;
  - 10) opisuje zjawisko interferencji, wyznacza długość fali na podstawie obrazu interferencyjnego;
  - 11) wyjaśnia zjawisko ugięcia fali w oparciu o zasadę Huygensa;
  - 12) opisuje fale stojące i ich związek z falami biegnącymi przeciwnie;
  - 13) opisuje efekt Dopplera w przypadku poruszającego się źródła i nieruchomego obserwatora.

---

7. Pole elektryczne. Uczeń:

- 1) wykorzystuje prawo Coulomba do obliczenia siły oddziaływania elektrostatycznego między ładunkami punktowymi;
- 2) posługuje się pojęciem natężenia pola elektrostatycznego;
- 3) oblicza natężenie pola centralnego pochodzącego od jednego ładunku punktowego;
- 4) analizuje jakościowo pole pochodzące od układu ładunków;
  - a) wyznacza pole elektrostatyczne na zewnątrz naelektryzowanego ciała sferycznie symetrycznego;
- 6) przedstawia pole elektrostatyczne za pomocą linii pola;
- 7) opisuje pole kondensatora płaskiego, oblicza napięcie między okładkami;
- 8) posługuje się pojęciem pojemności elektrycznej kondensatora;
- 9) oblicza pojemność kondensatora płaskiego, znając jego cechy geometryczne;
- 10) oblicza pracę potrzebną do naładowania kondensatora;
- 11) analizuje ruch cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu elektrycznym;
- 12) opisuje wpływ pola elektrycznego na rozmieszczenie ładunków w przewodniku, wyjaśnia działanie piorunochronu i klatki Faradaya.

8. Prąd stały. Uczeń:

- 1) wyjaśnia pojęcie siły elektromotorycznej ogniwa i oporu wewnętrznego;
- 2) oblicza opór przewodnika, znając jego opór właściwy i wymiary geometryczne;
- 3) rysuje charakterystykę prądowo-napięciową opornika podlegającego prawu Ohma;
- 4) stosuje prawa Kirchhoffa do analizy obwodów elektrycznych;
- 5) oblicza opór zastępczy oporników połączonych szeregowo i równolegle;
- 6) oblicza pracę wykonaną podczas przepływu prądu przez różne elementy obwodu oraz moc rozproszoną na oporze;
- 7) opisuje wpływ temperatury na opór metali i półprzewodników.

9. Magnetyzm, indukcja magnetyczna. Uczeń:

- 1) szkicuje przebieg linii pola magnetycznego w pobliżu magnesów trwałych i przewodników z prądem (przewodnik liniowy, pętla, zwojnica);
- 2) oblicza wektor indukcji magnetycznej wytworzonej przez przewodniki z prądem (przewodnik liniowy, pętla, zwojnica);
- 3) analizuje ruch cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu magnetycznym;
- 4) opisuje wpływ materiałów na pole magnetyczne;
- 5) opisuje zastosowanie materiałów ferromagnetycznych;

- 
- 6) analizuje siłę elektrodynamiczną działającą na przewodnik z prądem w polu magnetycznym;
  - 7) opisuje zasadę działania silnika elektrycznego;
  - 8) oblicza strumień indukcji magnetycznej przez powierzchnię;
  - 9) analizuje napięcie uzyskiwane na końcach przewodnika podczas jego ruchu w polu magnetycznym;
  - 10) oblicza siłę elektromotoryczną powstającą w wyniku zjawiska indukcji elektromagnetycznej;
  - 11) stosuje regułę Lenza w celu wskazania kierunku przepływu prądu indukcyjnego;
  - 12) opisuje budowę i zasadę działania prądnicy i transformatora;
  - 13) opisuje prąd przemienny (natężenie, napięcie, częstotliwość, wartości skuteczne);
  - 14) opisuje zjawisko samoindukcji;
  - 15) opisuje działanie diody jako prostownika.
10. Fale elektromagnetyczne i optyka. Uczeń:
- 1) opisuje widmo fal elektromagnetycznych i podaje źródła fal w poszczególnych zakresach z omówieniem ich zastosowań;
  - 2) opisuje jedną z metod wyznaczenia prędkości światła;
  - 3) opisuje doświadczenie Younga;
  - 4) wyznacza długość fali świetlnej przy użyciu siatki dyfrakcyjnej;
  - 5) opisuje i wyjaśnia zjawisko polaryzacji światła przy odbiciu i przy przejściu przez polaryzator;
  - 6) stosuje prawa odbicia i załamania fal do wyznaczenia biegu promieni w pobliżu granicy dwóch ośrodków;
  - 7) opisuje zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia i wyznacza kąt graniczny;
  - 8) rysuje i wyjaśnia konstrukcje tworzenia obrazów rzeczywistych i pozornych otrzymywane za pomocą soczewek skupiających i rozpraszających;
  - 9) stosuje równanie soczewki, wyznacza położenie i powiększenie otrzymanych obrazów.
11. Fizyka atomowa i kwanty promieniowania elektromagnetycznego. Uczeń:
- 1) opisuje założenia kwantowego modelu światła;
  - 2) stosuje zależność między energią fotonu a częstotliwością i długością fali do opisu zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego, wyjaśnia zasadę działania fotokomórki;
  - 3) stosuje zasadę zachowania energii do wyznaczenia częstotliwości promieniowania emitowanego i absorbowanego przez atomy;
  - 4) opisuje mechanizm powstawania promieniowania rentgenowskiego;
  - 5) określa długość fali de Broglie'a poruszających się cząstek.

## 12. Wymagania przekrojowe

Oprócz wiedzy z wybranych działów fizyki, uczeń:

- 1) przedstawia jednostki wielkości fizycznych wymienionych w podstawie programowej, opisuje ich związki z jednostkami podstawowymi;
- 2) samodzielnie wykonuje poprawne wykresy (właściwe oznaczenie i opis osi, wybór skali, oznaczenie niepewności punktów pomiarowych);
- 3) przeprowadza złożone obliczenia liczbowe, posługując się kalkulatorem;
- 4) interpoluje, ocenia orientacyjnie wartość pośrednią (interpolowaną) między danymi w tabeli, także za pomocą wykresu;
- 5) dopasowuje prostą  $y = ax + b$  do wykresu i ocenia trafność tego postępowania; oblicza wartości współczynników  $a$  i  $b$  (ocena ich niepewności nie jest wymagana);
- 6) opisuje podstawowe zasady niepewności pomiaru (szacowanie niepewności pomiaru, obliczanie niepewności względnej, wskazywanie wielkości, której pomiar ma decydujący wkład na niepewność otrzymanego wyniku wyznaczonej wielkości fizycznej);
- 7) szacuje wartość spodziewanego wyniku obliczeń, krytycznie analizuje realność otrzymanego wyniku;
- 8) przedstawia własnymi słowami główne tezy poznanego artykułu popularno naukowego z dziedziny fizyki lub astronomii.

## 13. Wymagania doświadczalne

Uczeń przeprowadza przynajmniej połowę z przedstawionych poniżej zadań polegających na wykonaniu pomiarów, opisie i analizie wyników oraz, jeżeli to możliwe, wykonaniu i interpretacji wykresów dotyczących:

- 1) ruchu prostoliniowego jednostajnego i jednostajnie zmiennego (np. wyznaczenie przyspieszenia w ruchu jednostajnie zmiennym);
- 2) ruchu wahadła (np. wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego);
- 3) ciepła właściwego (np. wyznaczenie ciepła właściwego danej cieczy);
- 4) kształtu linii pól magnetycznego i elektrycznego (np. wyznaczenie pola wokół przewodu w kształcie pętli, w którym płynie prąd);
- 5) charakterystyki prądowo-napięciowej opornika, żarówki, ewentualnie diody (np. pomiar i wykonanie wykresu zależności  $I(U)$ );
- 6) drgań struny (np. pomiar częstotliwości podstawowej drgań struny dla różnej długości drżającej części struny);
- 7) dyfrakcji światła na siatce dyfrakcyjnej lub płycie CD (np. wyznaczenie gęstości ścieżek na płycie CD);
- 8) załamania światła (np. wyznaczenie współczynnika załamania światła z pomiaru kąta granicznego);
- 9) obrazów optycznych otrzymywanych za pomocą soczewek (np. wyznaczenie powiększenia obrazu i porównanie go z powiększeniem obliczonym teoretycznie).



Zakład Dydaktyki Fizyki w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Rzeszowskiego prowadzi badania nad możliwością wprowadzenia elementów nanotechnologii do programu nauczania fizyki lub przyrody w szkole średniej.

Do podjęcia próby w tym zakresie skłoniły nas:

- obserwacje ewaluacji współczesnego szkolnictwa, (przede wszystkim wprowadzana w 2009 roku zmiana podstawy programowej przedmiotów przyrodniczych);

- obserwacje osiągnięć nauki i techniki;

oraz wnioski za nimi idący, czyli:

- konieczność znajomości przez współczesnego człowieka zjawisk zachodzących w mikroświecie w celu lepszego rozumienia otaczającego świata.

Program nauczania dotyczący podstawowych zagadnień z nanotechnologii będzie służył do uzyskania u uczniów: umiejętności przewidywania zachowania się mikroświata oraz zmiany sposobu postrzegania mikroświata.

Aby móc opisywać zjawiska w skali nano należy posługiwać się pojęciami między innymi z mechaniki kwantowej oraz ciała stałego. Proponujemy zatem następujące zagadnienia z jakimi uczeń powinien się zapoznać w czasie nauki o nanotechnologii:

1. **Prawdopodobieństwo** – wielkość, dzięki której opisuje się pewność, z jaką zdarzenia w mikroświecie mogą nastąpić. Główną zasadą

kwantową jest niewyczerpywalna niepewność tzn. że nie możemy przewidzieć wyniku żadnego zdarzenia kwantowego dlatego posługujemy się prawdopodobieństwem. Prawdopodobieństwo określa amplituda, która zależy od 2 liczb rzeczywistych i którą można manipulować.

2. **Funkcja falowa** – opisuje stan układu mikroskopowego np. elektronu w atomie. Określa ona prawdopodobieństwo znalezienia elektronu.
3. **Efekt tunelowy** – zjawisko, któremu podlegają cząstki w mikroświecie, zjawisko związane z przenikaniem cząstki kwantowej przez barierę potencjału. Polega ono na tym, że istnieje pewne niezerowe prawdopodobieństwo znalezienia cząstki po drugiej stronie bariery potencjału, mimo że  $E < V_0$  (gdzie: E – energia cząstki,  $V_0$  – wysokość bariery).
4. **Zasada nieoznaczoności Heisenberga** – podstawowa zasada obowiązująca w mikroświecie. Niepewność współrzędnej pędu cząstki mikroskopowej  $\Delta p_x$  i niepewność współrzędnej położenia  $\Delta x$  związane są relacją:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

W fizyce kwantowej występuje zawsze niepewność energii  $\Delta E$  związana z niepewnością czasu  $\Delta t$  analogicznym wzorem

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

5. **Fale materii** – przykład falowej natury cząstek np. elektronów. Długość takiej fali to  $\lambda = \frac{h}{p}$ . Eksperymentalnie potwierdzone w postaci dyfrakcji elektronów (wiązka elektronów przepuszczona przez kryształ).
6. **Cząstka w studni potencjału** – jako przykład ograniczenia dla energii cząstki. Gdy cząstka jest zamknięta wewnątrz pewnego skończonego

obszaru (np. elektron w atomie), to wówczas jej energia przybiera tylko

niektóre wartości dane wzorem:  $E = \frac{\hbar^2}{2m} k^2 = \frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{n\pi}{a} \right)^2$  (gdzie  $n=1,2,\dots$ ).

7. **Współczesne mikroskopy (STM, AFM)** jako przykład wykorzystania zjawiska tunelowania. Czułość prądu tunelowego wykorzystana jest do budowy STM (z *ang.* *scanning tunneling microscope* – skaningowy mikroskop tunelowy). Natężenie tego prądu, tzw. prądu tunelowania, jest wykładniczą funkcją odległości między próbnikiem a powierzchnią próbki. Pozwala to na odwzorowanie badanej powierzchni.
8. **Struktury niskowymiarowe (3DEG, 2DEG, 1DEG, 0DEG)** jako materiał do budowy nanoobwodów. Rodzaje struktur: 3D – półprzewodnik objętościowy (lity) – ruch nośników nie jest ograniczony w żadnym kierunku; 2D – studnia kwantowa dwuwymiarowa (warstwa półprzewodnikowa) – ruch nośników jest ograniczony w jednym wymiarze; 1D – drut kwantowy – ruch nośników ograniczony w dwóch wymiarach; 0D – kropka kwantowa (pudełko kwantowe, nanokryształ, sztuczny atom) – ruch nośników ograniczony w trzech wymiarach
9. **Nanoobwody** – najmniejsze obwody elektryczne, zbudowane ze struktur niskowymiarowych. Ich elementy to np. tranzystor jednoelektronowy (SET) stanowiący kres urządzeń kontrolujących prąd (kontrolowanie porcjami - po jednym elektronie); bramka z przerwą; kwantowy kontakt punktowy (QPC).
10. **Nanorurki i fullereny** jako materiały szerokiego zastosowania ze względu na swoje właściwości elektronowe. To zbudowane z węgla (atomy węgla tworzą sześciokątne pierścienie), regularne i symetryczne cząsteczki. Najważniejsze ich właściwości to bardzo duża odporność na zginanie i rozciąganie, stabilność termiczna oraz unikalne własności elektryczne, które zależą od średnicy i stopnia skręcenia.

ZDF zwraca się zatem z prośbą o wypełnienie przez Państwa ankiety, której wynik będzie punktem wyjścia do dalszych działań badawczych, a osiągnięcie zamierzonych celów uczyni fizykę szkolną przedmiotem spójnym na wszystkich etapach kształcenia.

Ankieta jest anonimowa.

*Prosimy tylko o wpisanie lat pracy w zawodzie nauczyciela, oraz rodzaju szkoły, w której Pan/Pani pracuje (konieczne do badań).*

Lata pracy:

Rodzaj szkoły (g – gimnazjum, LO – liceum ogólnokształcące, LP – liceum profilowane, T – technikum, ZSZ – zasadnicza szkoła zawodowa):

Biorąc pod uwagę dość szybki rozwój technologiczny w zakresie miniaturyzacji i związaną z nim konieczność znajomości zjawisk zachodzących w mikroświecie oraz nową podstawę programową (2009) przedmiotu:

- **fizyka na IV etapie edukacyjnym** – zakres podstawowy i rozszerzony, gdzie uwzględnia się fizykę współczesną:

oraz

- **przyroda na IV etapie edukacyjnym** – przedmiot uzupełniający (dla uczniów, którzy nie wybiorą żadnego z przedmiotów przyrodniczych w zakresie rozszerzonym), gdzie uwzględnia się:

punkt 13: „Technologie współczesne i przyszłe.”

oraz

punkt 24: „Największe i najmniejsze.”(zał. Nr 1)

**ZAZNACZ**, które z zagadnień przedstawionych powyżej powinny być wprowadzone do programu nauczania fizyki (bądź przyrody) w szkole średniej, **UZASADNIJ** dlaczego i w jakim zakresie:

**1. Prawdopodobieństwo**

**2. Funkcja falowa**

**3. Efekt tunelowy**

**4. Zasada nieoznaczoności Heisenberga**

**5. Fale materii**

**6. Cząstka w studni potencjału**

**7. Współczesne mikroskopy (STM, AFM)**

**8. Struktury niskowymiarowe (3DEG, 2DEG, 1DEG, 0DEG)**

**9. Nanoobwody**

## 10. Nanorurki i fullereny

Załącznik Nr 1: Podstawa programowa przedmiotu Przyroda w szkole średniej – Wątki tematyczne:

		1. Fizyka	2. Chemia	3. Biologia	4. Geografia
A. Nauka i świat	1. Metoda naukowa i wyjaśnianie świata	1.1	1.2	1.3	1.4
	2. Historia myśli naukowej	2.1	2.2	2.3	2.4
	3. Wielcy rewolucjoniści nauki	3.1	3.2	3.3	3.4
	4. Dylematy moralne w nauce	4.1	4.2	4.3	4.4
	5. Nauka i pseudonauka	5.1	5.2	5.3	5.4
	6. Nauka w mediach	6.1	6.2	6.3	6.4
	7. Nauka w komputerze	7.1	7.2	7.3	7.4
	8. Polscy badacze i ich odkrycia	8.1	8.2	8.3	8.4
B. Nauka i technologia	9. Wynalazki, które zmieniły świat	9.1	9.2	9.3	9.4
	10. Energia – od Słońca do żarówki	10.1	10.2	10.3	10.4
	11. Światło i obraz	11.1	11.2	11.3	11.4
	12. Sport	12.1	12.2	12.3	12.4
	13. Technologie współczesne i przyszłości	13.1	13.2	13.3	13.4
	14. Współczesna diagnostyka i medycyna	14.1	14.2	14.3	14.4
	15. Ochrona przyrody i środowiska	15.1	15.2	15.3	15.4
	16. Nauka i sztuka	16.1	16.2	16.3	16.4
C. Nauka wokół nas	17. Uczenie się	17.1	17.2	17.3	17.4
	18. Barwy i zapachy świata	18.1	18.2	18.3	18.4
	19. Cykle, rytmy i czas	19.1	19.2	19.3	19.4
	20. Śmiech i płacz	20.1	20.2	20.3	20.4
	21. Zdrowie	21.1	21.2	21.3	21.4
	22. Piękno i uroda	22.1	22.2	22.3	22.4
	23. Woda – cud natury	23.1	23.2	23.3	23.4
	24. Największe i najmniejsze	24.1	24.2	24.3	24.4

**Annex no. 3:** Test for pupils

# Test

(Zaznacz prawidłową odpowiedź.)

**Imię i Nazwisko:**

*Data:*

1. Gdy w 9-ciu kolejnych rzutach monetą otrzymaliśmy reszkę, to jakie jest prawdopodobieństwo tego, że w 10-tym rzucie otrzymamy orła?

a) *duże*

b) *małe*

c) *takie same jak dla otrzymania reszki*

2. Wylosowanie której kombinacji liczb w Dużym Lotku jest bardziej prawdopodobne, A czy B?

**A:** 1, 2, 3, 4, 5, 6

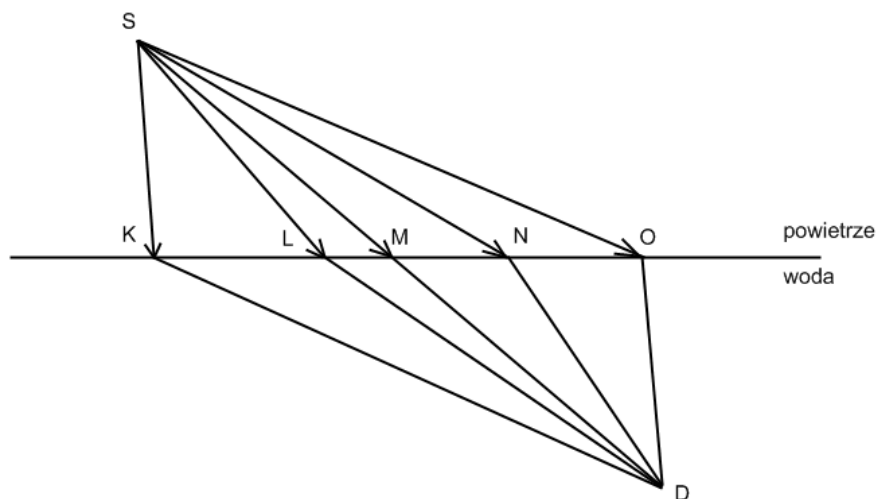
**B:** 3, 8, 17, 29, 35, 42

a) *A*

b) *B*

c) *jednakowe dla A i B*

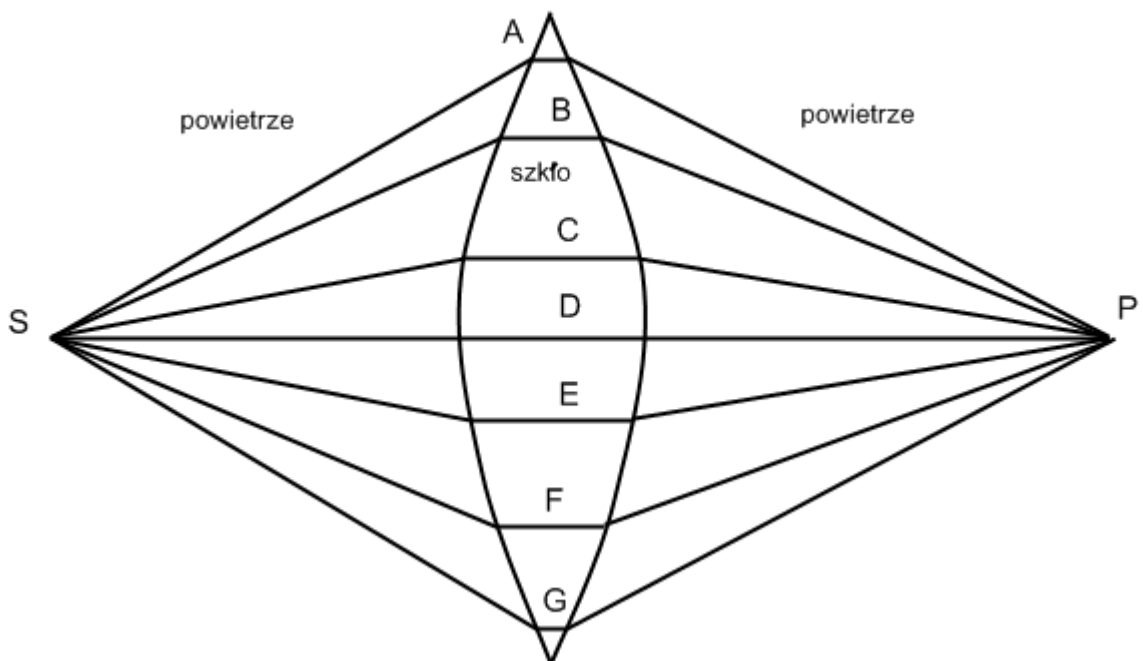
3. Którą drogę wybierze światło (foton): K, L, M, N czy O, aby jak najszybciej przebiec od S do D?



Rys. 1. Przejście światła (fotonów) z powietrza (z punktu S) do wody (do punktu D).

- a) K
- b) L
- c) M
- d) N
- e) O

4. Którą z dróg: A, B, C, D, E, F czy G światło (foton) pokona najszybciej, aby dotrzeć od S do P?



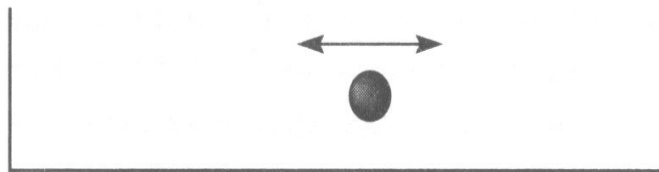
Rys. 2. Przejście światła: powietrze – szkło – powietrze.

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E
- f) F
- g) G
- h) wszystkie pokona w jednakowym czasie.

5. Czy energia całkowita mikroskopowej cząstki np. elektronu może się równać zero?

- a) *tak*
- b) *nie.*

6. Cząstka mikroskopowa porusza się w lewo i w prawo w zamkniętym obszarze, tak jak na rysunku. W którym punkcie cząstka będzie przebywać najdłużej? Gdzie jest największe prawdopodobieństwo



znalezienia cząstki?

*Rys.3. Kulka mikroskopowa poruszająca się raz w lewo raz w prawo w zamkniętym obszarze.*

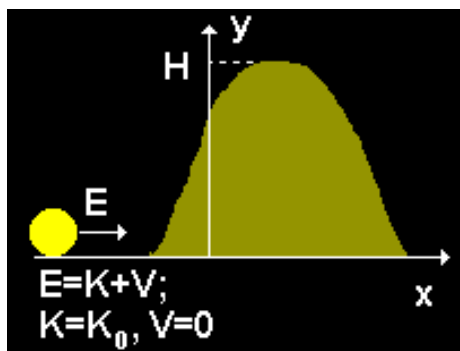
- a) *w pobliżu obu ścianek*
- b) *pośrodku obszaru zamkniętego*
- c) *w każdym punkcie jednakowo.*

7. Elektron znajdujący się w zamkniętym obszarze np. w metalu:

- a) *posiada ściśle określone wartości energii*
- b) *posiada dowolną energię*
- c) *pozostaje w spoczynku.*

8. Wyobraźmy sobie kulkę o masie  $m$ , oraz energii kinetycznej początkowej  $K_0$ , która biegnąc z lewej strony na prawą napotyka na barierę w postaci wału (górkę) o wysokości  $H$  jak na rysunku poniżej.

Energia całkowita  $E$  to suma en. potencjalnej  $V$  i en. kinetycznej  $K$ .

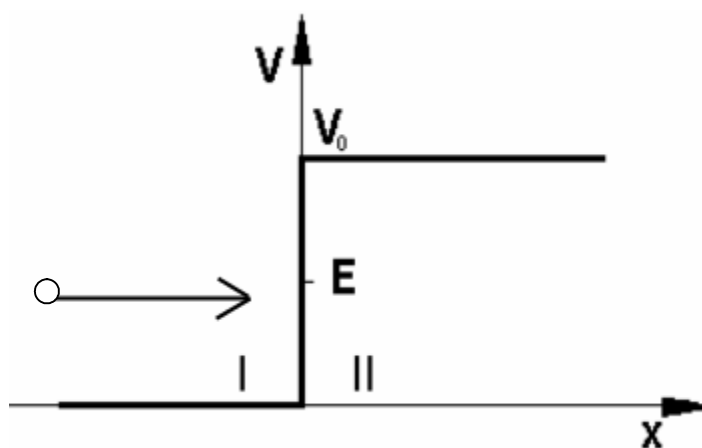


Rys.4.

Jak zachowa się cząstka, jeśli jej energia kinetyczna  $K$  będzie mniejsza od energii potencjalnej  $V$  cząstki na szczycie góry?

- a) nie pokona tej bariery
- b) zawsze pokona barierę
- c) czasami może pokonać tę barierę.

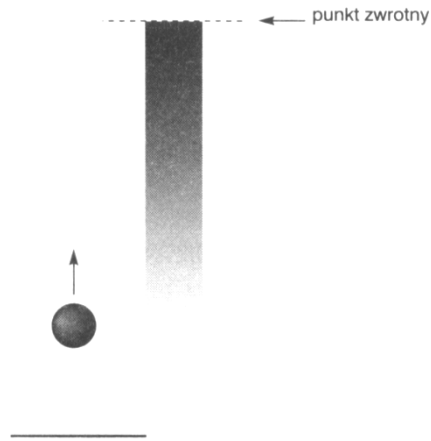
9. Jak zachowa się cząstka mikroskopowa o energii  $E$  gdy napotka na obszar II o polu elektrycznym  $V_0$  (rysunek poniżej), gdzie  $E < V_0$ :



Rys.5. Cząstka mikroskopowa napotykająca na barierę energetyczną.

- a) cząstka zawsze odbije się od tego obszaru, gdyż  $E < V_0$
- b) istnieje możliwość, że cząstka przejdzie przez ten obszar.

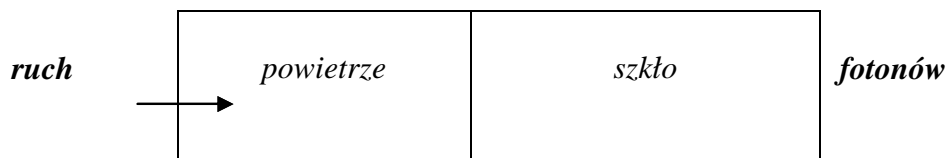
10. Wyobraźmy sobie kulę podskakującą sprężystości (jak na rysunku poniżej). Gdzie jest największe prawdopodobieństwo jej występowania?



Rys.6. Kulka podskakująca sprężystości.

- a) na dole
- b) na górze
- c) w połowie wysokości.

11. Jak zachowa się fala świetlna na granicy dwóch ośrodków: powietrza i szkła (rysunek poniżej)?



Rys.7. Ruch fotonów padających na granicę dwóch ośrodków.

- a) przejdzie do drugiego ośrodka
- b) odbije się od szkła
- c) ulegnie częściowemu odbiciu.

12. Kiedy cząstka dodatnia, znajdująca się w jądrze atomowym może się z niego uwolnić?

- a) *Zawsze, ponieważ jest odpychana przez protony, które mają też ładunek dodatni;*
- b) *Nigdy, ponieważ mocno związana jest oddziaływaniem silnym ze składnikami jądra atomowego;*
- c) *Czasami, ze względu na zjawisko umożliwiające taki efekt.*

13. Do opisu zjawisk z udziałem elektronów możemy stosować:

- a) *równania ruchu Newtona*
- b) *równania zawierające funkcję falową*
- c) *równania kinematyczne*

14. Mając do dyspozycji nowoczesne przyrządy pomiarowe możemy określić dla np. elektronu:

- a) *położenie i pęd*
- b) *albo położenie albo pęd*
- c) *pęd*
- d) *położenie*
- e) *energię jaką posiada elektron w danej chwili.*

15. Elektrony mają właściwości:

- a) *cząstek*
- b) *falowe*
- c) *mają podwójną naturę.*

## Annex no. 4: Lessons

### Temat lekcji (nr 1): Czym zajmuje się nanotechnologia?

Typ lekcji: wprowadzająca do nowego działu

Cele dydaktyczne – ogólne: zdefiniowanie pojęcia nanotechnologia, przedstawienie zmian zachodzących w nauce i technice na przełomie ostatnich lat

#### Cele operacyjne:

<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
uczeń: definiuje jednostkę nanometr; wymienia dziedziny nauki, w których zachodzi miniaturyzacja	uczeń: wyjaśnia czym zajmuje się nanotechnologia; potrafi zilustrować zmiany w miniaturyzacji;	uczeń: porównuje techniki wytwarzania nanostruktur; klasyfikuje zastosowanie ultradrobnych proszków;	uczeń: analizuje zastosowanie nanomateriałów w porównaniu do materiałów wytwarzanych metodami tradycyjnymi; wyszukuje dodatkowe informacje na temat osiągnięć z tej dziedziny;

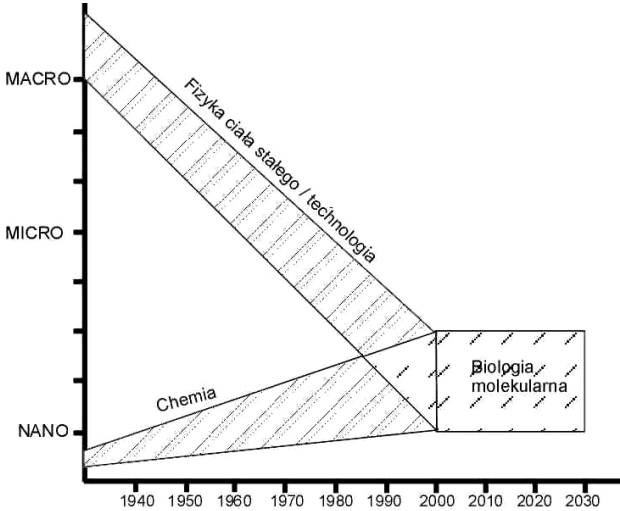
#### Metody pracy: wykład

Forma organizacyjna : zbiorowa

Środki dydaktyczne: plansza z wykresem, plakat

#### Przebieg lekcji

ZADANIA	WARUNKI	CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA	CZYNNOŚCI UCZNI	WYNIK
Zdefiniowanie pojęcia nanotechnologia.	Pochodzenie słowa: nanotechnologia	<b>Nanotechnologia</b> należy do najbardziej dynamicznie rozwijającej się dziedziny nauki i techniki, łącząc wybrane obszary fizyki ciała stałego, chemii, materiałoznawstwa i biologii molekularnej.		

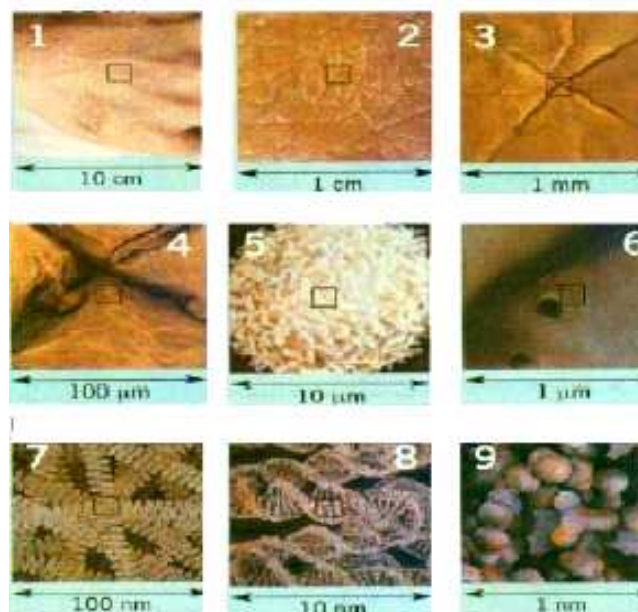
<p>Przedstawienie zmian w zakresie badań różnych dziedzin naukowych</p>	<p>Plansza z wykresem</p>	<p>Pole zainteresowania nanotechnologii to technologia manipulacji materiałami oraz obróbki elementów w zakresie 0.1 - 100 nm.</p> <p>Nanometr - jaka jest to część metra?</p> <p>Jest to mało, czy dużo?</p> <p>Na rysunku poniżej obserwujemy przebieg zmian w miniaturyzacji jakie miały miejsce w ciągu ostatniej dekady biorąc pod uwagę tylko fizykę ciał stałego, chemię i technologię.</p> 	<p>1 nm = 10<sup>-9</sup>m</p> <p>Jest to bardzo mało (wielkość atomu).</p>	<p>Zdefiniowanie słowa nanotechnologia</p>
<p>Przedstawienie początku w miniaturyzacji</p>	<p>Fragment wykładu Feynmana z 1959r.</p>	<p><b>Nanotechnologię</b> jako dziedzinę zajmującą się obiektami o wymiarach rzędu setek nanometrów (1 nm = 10<sup>-9</sup>m) zaproponował amerykański fizyk, laureat nagrody Nobla, Richard Feynman w prekursorskim wykładzie na zjeździe Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego w 1959 roku pt. "There's Plenty of Room at the Bottom" (Tam na dole jest mnóstwo miejsca).</p> <p>W wykładzie tym można znaleźć następujący fragment:</p> <p><i>Na poziomie molekularnym mamy nowe rodzaje s</i></p>		<p>Zilustrowanie zmian zachodzących w obszarze badań naukowych</p>

nowe możliwości, nowego rodzaju efekty. Problem wytwarzania i replikacji materiałów będą tam zupełnie inne. Jak już wspomniałem, inspiracją są dla mnie procesy biologiczne, w których siły chemiczne wykorzystywane są w powtarzalny sposób do wytwarzania różnych dziwnych efektów. Zasady są na tyle, na ile zdolny jestem dostrzec, nie każą nam odrzucać możliwości wytwarzania obiektów poprzez manipulowanie pojedynczymi atomami. Nie wiążą tym próbą podważenia jakichkolwiek praw fizycznych jest to coś, co w zasadzie można zrobić, a co w praktyce nie zostało zrobione, dlatego, że jesteśmy duzi (tłum. J.A.K.).

Pokazanie na poziomie jakiej skali operuje nanotechnologia.

Plakat przedstawia kwadrat powierzchni ręki o boku 10 cm, 1 cm, 1 mm, 100 μm, 10 μm, 1 μm, 100 nm, 10 nm oraz 1 nm.

POWIERZCHNIA RĘKI



Podanie przykładów osiągnięć technologicznych

Już dziś technologowie kwantowi potrafią łączyć pojedyncze atomy i wykonywać z nimi doświadczenia. Potrafią odbijać atomy tam i z powrotem w polach elektromagnetycznych, rysować atomowe graffiti, przemieszczając atom na powierzchni ciała stałego i

Geneza miniaturyzacji

Porównanie Skali

<p>Zalety materiałów wytwarzanych za pomocą nanotechnologii.</p>	<p>Sposób produkcji</p>	<p>odzworowywać strukturę kryształu, ujawniając oddzielne atomy.</p> <p>W wielu laboratoriach naukowych wytwarzane są nanostruktury i badane ich właściwości. W tym celu stosuje się techniki polegające między innymi na:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) budowaniu struktur z pojedynczych atomów,</li> <li>2) wykorzystaniu dużych odkształceń plastycznych,</li> <li>3) rozdrabnianiu mikrostruktur do skali nano.</li> </ol> <p>Właściwości mechaniczne, termiczne, elektryczne i magnetyczne ceramiek, spieków metali oraz kompozytów znacząco polepszają się wraz ze zmniejszeniem rozmiarów cząstek lub włókien, użytych do ich wytwarzania. Parametry materiałów, takie jak wytrzymałość, rozciągliwość, kruchość, przepuszczalność światła, czy przenikalność dielektryczna mogą być modyfikowane poprzez ingerencję w mikrostrukturę materiału, na drodze zmiany rozmiarów cząstek lub poprzez dodatek ultradrobnych proszków. Proces produkcji jest bardziej kontrolowany i przewidywalny.</p>		
<p>Zastosowanie nanomateriałów</p>	<p>Parametry ultradrobnych proszków przede wszystkim: rozmiary</p>	<p>(nanomateriały – ultradrobne proszki) znajdują zastosowania w:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- produkcji cienki warstw i pokryć;</li> <li>- chromatografii (rozdzielanie mieszanin i badanie ich składu);</li> <li>- ceramice elektronicznej (zwiększenie właściwości dielektrycznych i optycznych);</li> <li>- produkcji spiekanych wypełnień</li> </ul>		

<p>Omówienie korzyści i zagrożeń jakie niesie ze sobą rozwój nanotechnologii</p>	<p>Umiejętność logicznego myślenia i obserwacji otaczającego świata</p>	<p>uszczelniających;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- produkcji narzędzi skrawających (precyzyjniejsze ostrza);</li> <li>- wytwarzania stali wysokotemperaturowych (większa twardość i wytrzymałość);</li> <li>- produkcji cementów (większa gęstość i jednolitość);</li> <li>- produkcji czujników gazów (większa selektywność) i wiele innych.</li> </ul> <p>Określcie parametr, który powoduje wytwarzanie coraz lepszych produktów bądź urządzeń.</p> <p>Dzisiaj wokół nas jest wiele rzeczy, które zawdzięczają jej swoje istnienie np.: odtwarzacz płyt kompaktowych, nieskapujące farby, światła hamowania w samochodzie, współczesna telekomunikacja światłowodowa, tomografia mózgu wykorzystująca magnetyczny rezonans jądrowy oraz skaningowy mikroskop tunelowy.</p> <p>Nanotechnologia stwarza duże perspektywy, ale również niesie za sobą zagrożenia. Jak myślicie: jakie mogą być zagrożenia wynikające z rozwoju nanotechnologii?</p>	<p>Parametrem tym są rozmiary cząsteczek. Im mniejsze cząstki bardziej wyselekcjonowane, tym produkt jest lepszy i nie ma zanieczyszczeń</p> <p>Zagrożenia wynikają przede wszystkim z tego, że nie można do końca kontrolować kierunku</p>	<p>Podanie: -przykładów -technik wytwarzania -zastosowania nanomateriałów</p> <p>Zapoznanie z korzyściami i zagrożeniami związanymi z nanotechnologią</p>
--	---	--	---	---

<p>Powtórzenie nowo poznanego materiału.</p>	<p>Pojęcia poznane na lekcji.</p>	<p>Co oznacza skala nanometr?          Jak przebiegają zmiany w nauce i technice w ostatnich latach na świecie?          Kto był prekursorem nanotechnologii, kto ją przewidział?          Czym zajmuje się nanotechnologia?          Jakie są zalety materiałów produkowanych w skali nano?</p>	<p>w jakim pójdą badania. Nowe technologie wykorzystane w nieodpowiedni sposób mogą stanowić olbrzymie zagrożenie (terroryzm).</p>	<p>Utrwalenie pojęć poznanych na lekcji.</p>
--	-----------------------------------	--	--	--

## Temat lekcji (nr 2):

### Lokalność, a losowość, czyli główna zasada kwantowa.

Typ lekcji: Zapoznanie z nowymi pojęciami

Cele dydaktyczne – ogólne: Omówienie głównej zasady kwantowej, losowości zdarzeń kwantowych, ich lokalności, oraz omówienie hipotezy o zmiennych ukrytych.

#### Cele operacyjne:

<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
uczeń: podaje główną zasadę kwantową; nazywa elementarne cząstki fali świetlnej – fotony;	uczeń: wyjaśnia na czym polega lokalność i losowość procesów kwantowych; wyjaśnia hipotezę o zmiennych ukrytych; potrafi zilustrować na przykładzie dowód nieistnienia zmiennych ukrytych;	uczeń: porównuje procesy zachodzące w mikroświecie i makroświecie;	uczeń: przewiduje zachowanie się fotonów przy przejściu przez przeszkodę; projektuje doświadczenie obrazujące lokalność lub losowość procesów kwantowych;

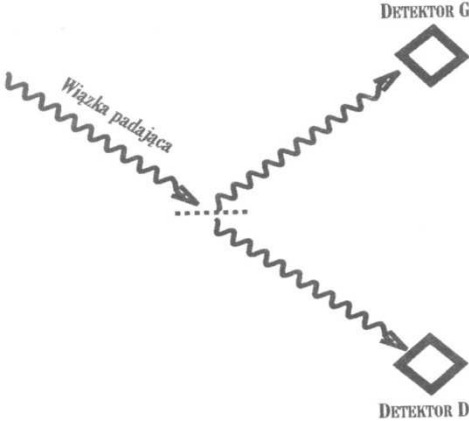
#### Metody pracy: pogadanka, wykład

Forma organizacyjna: zbiorowa

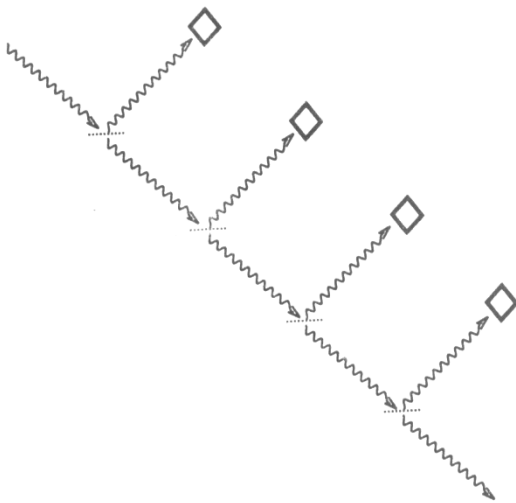
Środki dydaktyczne: slajdy lub plakat z rysunkiem doświadczeń myślowych

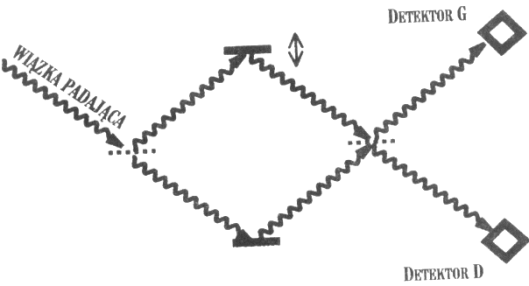
#### Przebieg lekcji

ZADANIA	WARUNKI	<i>CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA</i>	CZYNNOŚCI UCZNIĄ	WYNIK
<b>Doświadczenie obrazujące spotkanie wiązki światła z płytką</b>	Wiadomości na temat fali świetlnej jako	<b>Doświadczenie:</b> <b>Fala świetlna padająca na płytkę światłodziącą zostaje rozdzielona na fale</b>		

<p><b>światło dzieląca.</b></p> <p>Wyjaśnienie takiej cechy zjawiska jaką jest lokalność</p> <p>Zapoznanie uczniów z główną zasadą kwantową.</p>	<p>źródła fotonów (dualizm korpuskularno – falowy)</p> <p>Doświadczenie z rzutem monetą</p>	<p><b>odbiją i przepuszczoną, przy czym natężenie obu jest jednakowe. W miarę zmniejszania natężenia światła dochodzimy do natężenia tak małego, że w danym przedziale czasu przez aparat przelatuje tylko jeden foton.</b></p>  <p>Wtedy albo detektor G rejestruje foton, a D żadnego, albo odwrotnie – detektor D rejestruje jeden foton, a G żadnego. Czy możemy przewidzieć, który z detektorów zarejestruje foton?</p> <p>Lub, gdy rzucamy monetą czy możemy przewidzieć wynik, czy wypadnie orzeł czy reszka? Nawet jeśli kilka razy pod rząd wypadnie nam reszka, to nie świadczy to o tym, że jest większe prawdopodobieństwo, że w kolejnym rzucie wypadnie nam orzeł. Jest to tak zwana lokalność procesu, tzn. kolejny wynik nie zależy od następnego.</p> <p>Który detektor zarejestruje foton jest również sprawą przypadku, tak jak wynik rzutu monetą.</p>	<p>Nie można tego przewidzieć.</p> <p>Nie możemy przewidzieć wyniku rzutu monetą.</p>	<p>Przedstawienie doświadczenia obrazującego go losowość i lokalność procesów kwantowych</p>
--	---	--	---	--

<p>Lokalność procesów kwantowych</p>	<p>Wynik doświadczenia z fotonami lub wynik rzutu monetą.</p>	<p>Główną zasadą kwantową jest <b>niewyczerpywalna niepewność</b>. Tzn. że <b>nie możemy przewidzieć wyniku żadnego zdarzenia kwantowego.</b></p> <p><b>Fizyczna rzeczywistość ma nieredukowalnie losowy charakter, ale taki jakiego nigdy byśmy się nie spodziewali.</b></p>		
<p>Przykład lokalności procesów w świecie makro.</p>	<p>Doświadczenie z fotonami</p>	<p>Zakładamy, że procesy kwantowe są <b>lokalne</b>. To czy dany foton zostanie przepuszczony, czy odbity od płytki światłodzielącej, nie powinno zależeć od tego, co dzieje się z innym fotonem w odległym laboratorium i nie zależy od tego, co stanie się z fotonem padającym na tę samą płytkę w przyszłości.</p> <p>Tak samo jak w przypadku losowania kulki w Lotto. To, że jakiś nr został wylosowany nie zależy od tego, jaki był wylosowany wcześniej.</p> <p>Czy można przewidzieć, jaki numer zostanie wylosowany na podstawie tego jaki numer był wylosowany?</p>		
<p>Omówienie hipotezy o zmiennych</p>	<p>Losowanie Lotto.</p>	<p>Wylosowanie której kombinacji liczb w Lotto jest bardziej prawdopodobne:</p> <p>a) 1, 2, 3, 4, 5, 6;</p> <p>czy</p> <p>b) 13, 7, 22, 49, 33, 18.</p> <p><i>Hipoteza o zmiennych ukrytych</i></p> <p>Zmienne ukryte tłumaczyłyby, który z fotonów zostanie przepuszczony przez płytkę, a</p>	<p>Nie można tego przewidzieć.</p> <p>Wydaje nam się, że bardziej prawdopodobne</p>	

<p>ukrytych</p> <p>Przykład potwierdzający brak zmiennych ukrytych</p>	<p>Doświadczenie z szeregiem płytek</p> <p>Doświadczenie z szeregiem płytek światłodzielących</p>	<p>który odbity (tłumaczyłyby „losowość przypadkową”).</p> <p>Można przeprowadzić prosty eksperyment potwierdzający tę tezę:</p> <p>Zakładamy, że wynik zależy od pewnej zmiennej ukrytej, która przyjmuje dwie wartości (jedna powoduje, że foton ulega odbiciu – „O”, a druga, że zostanie przepuszczony – „P”).</p> <p><i>Doświadczenie:</i></p> <p>Szereg płytek światłodzielących ustawiamy na jednej osi oraz tyle samo detektorów w taki sposób, aby foton po odbiciu od płytki miał szansę być zarejestrowany.</p>  <p>Który detektor zarejestruje foton jeśli foton ulega <b>tylko odbiciu</b> (posiada zmienną ukrytą O), a który jeśli foton ulega <b>tylko przejściu</b> (posiada zmienną ukrytą P)?</p> <p>Mechanika kwantowa przyjmuje więcej możliwości (foton może przejść przez dowolną liczbę płytek i zawsze ma</p>	<p>jest wylosowanie zestawu b), ale to tylko złudzenie. Ponieważ proces ten jest też zdarzeniem lokalnym.</p>	<p>Udowodnienie lokalności procesów</p>
--	---	--	---	---

<p>Przykład potwierdzający brak zmiennych ukrytych.</p>	<p>Interferometr Macha – Zhendera</p>	<p>szansę na odbicie od następnej). Zatem: Nie istnieją <b>zmiennie ukryte</b>, dzięki którym wiedzielibyśmy który foton zostanie przepuszczony, a który odbity.</p> <p><i>Doświadczenie:</i> Interferometr Macha – Zhendera: klasyczny przyrząd optyczny składający się z 2 lusterek pełnych i 2 półprzepuszczalnych. Wiązka światła zostaje rozszczepiona na pierwszym półprzepuszczalnym lustrze, następnie skierowana jest na pełne lustro i następnie na drugie lustro półprzepuszczalne. Pojedynczy foton skierowany na lustro półprzepuszczalne może być odbity lub przepuszczony.</p>  <p>Który detektor zarejestruje foton jeśli foton ulega <b>tylko odbiciu</b> (posiada zmienną ukrytą O), a który jeśli foton ulega <b>tylko przejściu</b> (posiada zmienną ukrytą P)?</p> <p>Założenie błędne (niezgodne z wynikami doświadczeń). Zatem nie istnieje żaden ukryty zbiór instrukcji określających zachowanie fotonów.</p>	<p>Foton odbija się od pierwszej płytki i na tym koniecie a gdy posiada zmienną P, to nie zarejestruje go żaden detektor.</p>	<p>Udowodnienie tego, że nie istnieją zmiennie ukryte, które wyjaśniałyby zachowanie cząstek w mikroświecie</p>
<p>Powtórzenie nowo</p>	<p>Pojęcia poznane na lekcji.</p>	<p>Wyjaśnij na czym polega niepewność procesów kwantowych?</p>	<p>Jeśli cząstka o zmiennej</p>	

<p>poznanego materiału.</p>		<p>Wyjaśnij na czym polega lokalność procesów kwantowych?</p> <p>Jak została obalona hipoteza o zmiennych ukrytych?</p>	<p>ukrytej O (odbicie) trafia na płytkę pierwszą, to zostanie od niej odbita, trafia na lustro, a następnie na drugą płytkę i do detektora <b>G</b>.</p> <p>Natomiast, jeśli posiada zmienną ukrytą P (przejście), to przechodzi przez 1 i 2 płytkę i również trafia do <b>G</b>.</p>	<p>Utrwalenie pojęć poznanych na lekcji.</p>
-----------------------------	--	---	---	--

### Temat lekcji (nr 3):

### Prawdopodobieństwo, amplituda prawdopodobieństwa.

Typ lekcji: wprowadzająca

Cele dydaktyczne – ogólne: Poznanie pojęcia prawdopodobieństwo oraz amplituda prawdopodobieństwa.

#### Cele operacyjne:

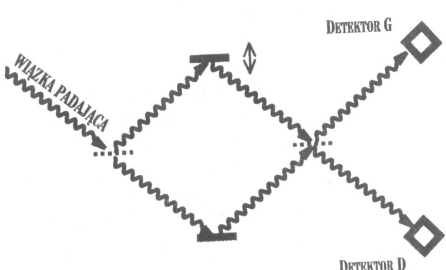
<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
<p>uczeń: definiuje amplitudę prawdopodobieństwa oraz prawdopodobieństwo;</p>	<p>uczeń: potrafi zilustrować amplitudę prawdopodobieństwa za pomocą strzałek;</p>	<p>uczeń: porównuje amplitudę do prawdopodobieństwa;</p>	<p>uczeń: przewiduje jakie wartości może przyjmować amplituda dla danego zdarzenia; analizuje przebieg zdarzenia kwantowego pod względem prawdopodobieństwa;</p>

**Metody pracy: wykład, pogadanka**

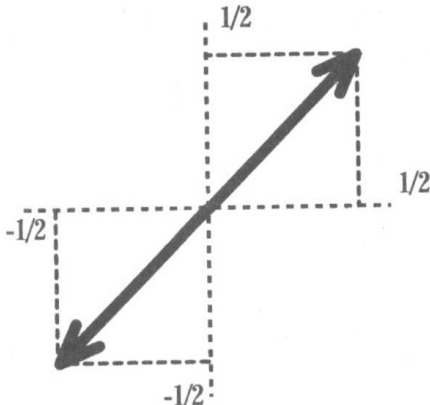
Forma organizacyjna: zbiorowa

Środki dydaktyczne: podręcznik, plansze z rysunkami.

Przebieg lekcji:

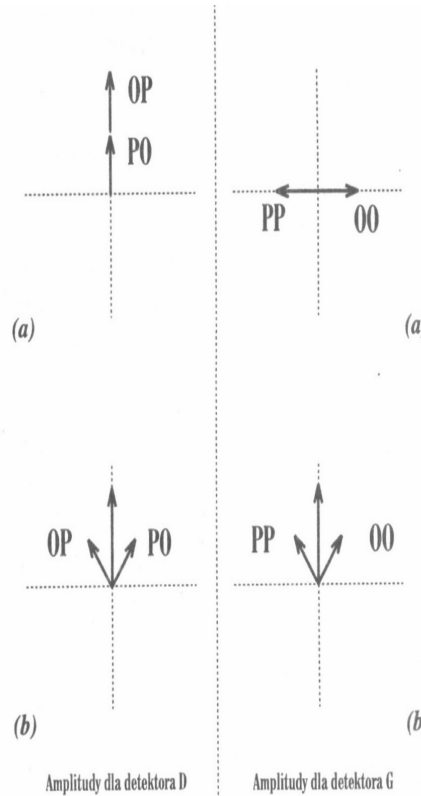
ZADANIA	WARUNKI	CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA	CZYNNOŚCI UCZNI	WYNIK
<p>Wprowadzenie do omówienia pojęcia prawdopodobieństwa.</p> <p>Doświadczenie myślowe wykorzystujące interferometr Macha-Zhendera.</p> <p>Wyznaczenie prawdopodobieństwa</p>	<p>2 płytki półprzezroczyste, 2 lustra idealnie odbijające światło, 2 detektory, wiązka fotonów.</p>	<p><i>Doświadczenie:</i></p> <p>Interferometr Macha – Zhendera. Długość drogi fotonu można regulować zmieniając położenie górnego lustra.</p>  <p><i>Rys.1. Interferometr Macha – Zhendera.</i></p> <p>Istnieją 4 historie fotonu:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• OP – detektor D;</li><li>• PO – detektor D;</li><li>• OO – detektor G;</li><li>• PP – detektor G.</li></ul> <p>Prawdopodobieństwo każdego zdarzenia wynosi 1/4 (wg tzw. „reguły niedostatecznej racji” zaproponowanej przez Laplace w XVIII w.).</p> <p>Prawdopodobieństwo zarejestrowania fotonu przez każdy z detektorów wynosi 1/2 (zgodnie z zasadą Bayesa: jeżeli pewne zdarzenie może nastąpić na wiele sposobów, to</p>		

<p>zarejestrowania fotonu przez każdy z detektorów.</p> <p>Przedstawienie amplitud prawdopodobieństwa za pomocą strzałek.</p>	<p>Wynik doświadczenia z interferometrem.</p> <p>Wynik doświadczenia z interferometrem.</p>	<p>jego prawdopodobieństwo jest równe sumie prawdopodobieństw dla każdego sposobu oddzielnie).</p> <p>    Nie tłumaczy to wyniku doświadczenia, który musi zależeć od różnicy długości ramion.</p> <p><i>Aby uwzględnić różnicę długości dróg przy obliczaniu prawdopodobieństwa należy postąpić zgodnie z mechaniką kwantową:</i></p> <p><i>amplitudą prawdopodobieństwa, która</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pozwala na obliczenie prawdopodobieństwa zdarzenia, ale nie daje możliwości przewidzenia jakie zdarzenie nastąpi z całą pewnością</li> <li>• zależy od 2 liczb rzeczywistych, a ich sumę kwadratów nazywamy prawdopodobieństwem</li> <li>• regułę sumowania prawdopodobieństw zastępujemy regułą sumowania amplitud prawdopodobieństwa (tzw. <b>zasada Feynmana</b>: amplituda prawdopodobieństwa zdarzenia, które może nastąpić na wiele nieodróżnialnych sposobów jest równa „sumie” amplitud dla każdego z tych sposobów oddzielnie).</li> </ul> <p>    Przedstawienie amplitudy prawdopodobieństwa.</p>		<p>Poznanie przez uczniów pojęcia prawdopodobieństwa</p> <p>Poznanie przez uczniów pojęcia amplitudy prawdopodobieństwa</p>
---	---	---	--	---

<p>Przykłady amplitud prawdopodobieństwa.</p>		 <p>Rys.2. Rysunek przedstawia 2 różne amplitudy prawdopodobieństwa <math>(1/2, 1/2)</math>, <math>(-1/2, -1/2)</math> odpowiadające takiemu samemu prawdopodobieństwu.</p> <p>Amplitudy przedstawione są w postaci strzałek, łączących początek układu z odpowiednim punktem na płaszczyźnie.</p> <p>Dodając je otrzymujemy <math>(0,0)</math>, a suma kwadratów składowych tej amplitudy wynosi 0 (zdarzenie nigdy nie zajdzie pomimo, że prawdopodobieństwo każdego ze zdarzeń „składowych” nie jest zerowe).</p> <p>Np. amplituda prawdopodobieństwa odbicia fotonu od płytki światłdzielącej wynosi <math>\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right)</math> lub <math>\left(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\right)</math>, bo suma kwadratów tych liczb równa się <math>1/2</math>. Widzimy, że składowe amplitudy prawdopodobieństwa nie muszą być dodatnie.</p> <p><b>Zmiana długości dróg fotonu.</b></p> <p>W Interferometrze Macha - Zhendera położenie górnego lustra można regulować w taki sposób, aby amplituda prawdo-</p>		
<p>Opis zmiany amplitud prawdopodobieństwa.</p>	<p>Wynik doświadczenia z interferometrem.</p> <p>Wynik doświadczenia</p>			<p>Poznanie przez uczniów sposobu przedstawiania amplitudy prawdopodobieństwa</p>

z interferometrem z regulowanym górnym lustrem.

podobieństwa (a zatem i prawdopodobieństwo) była różna.



*Rys.3. Amplitudy prawdopodobieństwa dla obu detektorów przedstawione w postaci strzałek dla różnych długości dróg fotonu w interferometrze Macha – Zhendera.*

**Amplitudy prawdopodobieństwa dla różnych historii fotonu:**

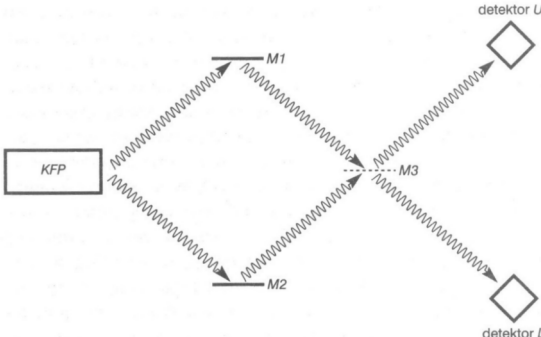
- a) D – rejestruje foton – dł. drogi jest tak dobrana, że amplitudy dla PP i OO kasują się;
- b) oba detektory rejestrują foton z jednakowym prawdopodobieństwem.

Zmieniając różnicę długości obu ramion zmieniamy kąt między amplitudami dla obu możliwych historii.

*Przykład:*

Doświadcze-

2 lustra M1 i M2,

<p>nie z KFP.</p>	<p>półprzepuszczalne lustro M3, 2 detektory, źródło światła zielonego, kwaśny fosforan potasu.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Doświadczenie z KFP (kwaśny fosforan potasu) wykonane na Uniwersytecie w Rochester w stanie Nowy Jork w 1987r.</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><i>Rys.4. KFP</i></p> <p>Intensywna wiązka światła o barwie zielonej padająca na odpowiednio wycięty kryształ KFP powoduje pojawienie się 2 wiązek światła o barwie czerwonej wychodzących z kryształu. Fotony kierowane są przez lustra M1 i M2 na półprzepuszczalne lustro M3. Na końcu umieszczone są 2 detektory U i L, które wychwytyują światło dwu wiązek wychodzących z urządzenia.</p> <p>Foton padający na M3 ma 50% szans na odbicie i tyle samo na przejście.</p> <p>Nigdy nie obserwujemy dwu jednoczesnych zliczeń w obu detektorach, ponieważ amplituda prawdopodobieństwa dla odbicia obydwu fotonów wynosi <math>1/2</math>, a amplituda prawdopodobieństwa dla przejścia obydwu fotonów <math>-1/2</math>, zatem ich suma równa się <b>0!</b></p> <p>Czym różni się amplituda prawdopodobieństwa od prawdopodobieństwa?</p>		<p>Poznanie przez uczniów przykładu obrazującego amplitudy prawdopodobieństwa</p>
<p>Powtórzenie nowo</p>	<p>Pojęcia poznane na lekcji.</p>			

poznanego materiału.		Jak można zobrazować amplitudę prawdopodobieństwa?		w wyniku dające zero  Utrwalenie pojęć poznanych na lekcji.
----------------------	--	--	--	---

### Temat lekcji (nr 4):

### Zasada nieoznaczoności Heisenberga.

Typ lekcji: wprowadzająca

Cele dydaktyczne – ogólne: Przedstawienie jednego z najważniejszych twierdzeń mechaniki kwantowej.

#### Cele operacyjne:

<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
uczeń: przedstawia treść zasady nieoznaczoności; podaje wzór określający zasadę nieoznaczoności dla położenia i pędu: $\Delta p \Delta x \geq \hbar$ podaje wzór określający zasadę nieoznaczoności dla energii i czasu: $\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar$ wyjaśnia symbole: $\hbar$ , $t$ , $E$ , $x$ , $p_x$ i podaje ich jednostki;	uczeń: opisuje różnicę pomiędzy pomiarem w mikroświecie a pomiarem w makroświecie i wpływem na stan obiektu; wyjaśnia, że w mikroświecie wpływ pomiaru na stan obiektu jest tak mały, iż można go pominąć;	uczeń: uzasadnia fakt, że każdy pomiar jest obarczony niepewnością; uzasadnia fakt, że pomiar jednej wielkości może zakłócić pomiar drugiej wielkości; wyjaśnia i podaje przykłady wpływu pomiaru w mikroświecie na stan obiektu;	uczeń: wyszukuje dodatkowe przykłady wpływu pomiaru na stan obiektu w mikroświecie

**Metody pracy: pogadanka, wykład**

Forma organizacyjna: zbiorowa

Środki dydaktyczne: podręcznik

## Przebieg lekcji

ZADANIA	WARUNKI	CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA	CZYNNOŚCI UCZNIĄ	WYNIK
<p>Wstęp dotyczący pomiaru w makroświecie</p> <p>Przykład obrazujący zależność pomiędzy pomiarem a stanem mierzonego obiektu.</p> <p>Przykład z makroświata i mikroświata obrazujący jaki wpływ ma pomiar na stan obiektu.</p>	<p>Obserwacja otaczającego świata. Przykłady pomiarów, jakich można dokonywać.</p> <p>Umiejętność posługiwania się przyrządem mierzącym długość</p> <p>Obserwacje otaczającego świata.</p>	<p>Makroświat jest tym wszystkim, co nas otacza i w sposób namacalny możemy zobaczyć czy dotknąć. Dlatego pomiary, jakich dokonujemy w nim są o wiele prostsze niż w mikroświecie. Dzieje się tak gdyż sami bez większego wysiłku możemy przekonać się, że pomiar, jaki wykonujemy nie wpływa na stan mierzonego przez nas obiektu w makroświecie.</p> <p>Przykład: Mierzmy wysokość słupa cieczy za pomocą linijki. Czynność tę powtarzamy kilkakrotnie i choć w poszczególnych pomiarach otrzymujemy nieco różne wyniki, to wiemy, iż wynika to z niepewności pomiarowej (przyrządu bądź obserwatora). Mamy świadomość, iż w makroświecie mierzony przedmiot, w naszym przypadku ciecz w naczyniu, nie zmieni po pewnym czasie swoich wymiarów (przy zachowaniu tych samych warunków doświadczalnych). Podajcie inne przykłady pomiarów, jakich można dokonać w mikroświecie.</p> <p>Jednakże w mikroświecie tak oczywiste założenia jak w makroświecie nie są już prawdziwe. W mikroświecie nasza intuicja, jaką nabywamy w makroświecie zaczyna nas zawodzić. Niektórzy fizycy twierdzą, iż realne znaczenie mają wyłącznie wielkości, które możemy zmierzyć.</p> <p>Wiemy, że Księżyc krąży dookoła Ziemi. Dzięki czemu możemy obserwować Księżyc? Światło w pewien sposób zaburza ruch Księżycyca lecz efekt ten jest znikomy.</p>	<p>(Ucniowie podają przykłady możliwych pomiarów.)</p> <p>Możemy go obserwować dzięki światłu słonecznemu</p>	<p>Poznanie przez uczniów cech pomiaru dokonywanego w makroświecie</p>

<p>Sformułowanie zasady nieoznaczoności</p>	<p>Znajomość obiektów mikroskopowych (elektronów i fotonów) oraz ich zachowania się w wyniku wzajemnych zderzeń.</p> <p>Wzór wiążący pęd z długością fali. Wielkości: <math>p</math>, <math>\hbar</math>, <math>\lambda</math> oraz ich jednostki. <math display="block">\hbar = \frac{h}{2\pi}</math>gdzie <math>h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}</math></p>	<p>Natomiast rozpatrując ruch elektronu wokół jądra mamy już zupełnie inną sytuację. Choćby się mogło zdawać, że zauważamy pewną analogię obu układów to reguły rządzące mikroświatem są zupełnie inne. Aby móc zobaczyć elektron, tak jak Księżyc musimy również odbić od niego światło lub inną cząstkę. Jednakże w przypadku elektronu odbicie fotonu nie pozostawi całego układu bez zmian tak jak to było w makroświecie. Foton, który odbije się od elektronu zmieni jego ruch, a zmiany tej nie można ani uniknąć, ani dokładnie oszacować. Jeśli więc zaliśmy pęd elektronu przed pomiarem, a nie zaliśmy położenia, to pomiar dostarczy informacji o położeniu, ale pęd ulegnie zmianie.</p> <p>Fakt, że nie możemy w sposób klasyczny opisać ruchów elektronu znajduje odzwierciedlenie w zasadzie nieoznaczoności Heisenberga.</p> <p><b>Z falowej teorii materii wynika wiele ciekawych wniosków. Między innymi to, że nie istnieją ciała o nieskończenie małych rozmiarach, oraz że nie można z dowolnie dużą dokładnością określić pędu cząstki (między innymi wynika to ze wzoru Shannona – podstawowego wzoru teorii informacji).</b></p> <p><b>Z podstawowego wzoru teorii kwantów</b></p> $p = \frac{\hbar}{\lambda} \quad (1)$ <p><b>wynika, że gdy wartość pędu cząstki maleje to odpowiadająca jej długość fali wzrasta (położenie cząstki jest bardziej rozmyte) nie można tym samym określić położenia cząstki z dowolną dokładnością.</b></p> <p><b>Ten fakt zauważył Werner Heisenberg formułując w 1927 roku zasadę nieoznaczoności w postaci; „Nie można jednocześnie określić z dowolnie dużą dokładnością położenia i pędu cząstki”</b></p> $\Delta p \Delta x \geq \hbar \quad (2)$ <p><b><math>\Delta p</math> -dokładność określenia pędu <math>\Delta x</math> -dokładność określenia położenia</b></p> <p><b>Początkowo sądzono, że sam pomiar położenia cząstki wprowadza zaburzenia w jej ruchu, powodując zmianę prędkości i co za tym idzie pędu. Dziś już wiemy, że zasada</b></p>	<p>odbijającemu się w naszym kierunku.</p> <p>Poznanie przez uczniów podstawowej cechy pomiaru w mikroświecie, oraz różnic Pomiedzy pomiarem w mikroświecie a pomiarem w makroświecie</p>
---	---	---	---

Przedstawienie doświadczenia potwierdzającego zasadę nieoznaczoności

Rysunek schematyczny obrazujący doświadczenie

Zjawisko dyfrakcji

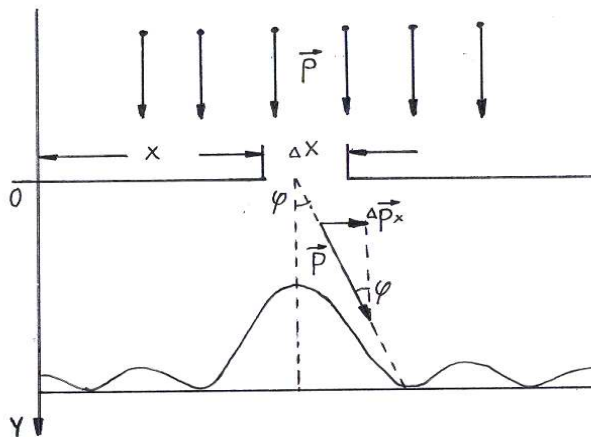
Zachowanie elektronów w czasie napotkania na szczelinę

**nieoznaczoności nie jest efektem błędów popełnianych podczas dokonywania pomiarów. Zasada ta pokazuje granice, poza którymi nasze klasyczne wyobrażenia nie nadają się do opisu zaistniałej sytuacji.**

Zasada ta została wielokrotnie potwierdzona doświadczalnie.

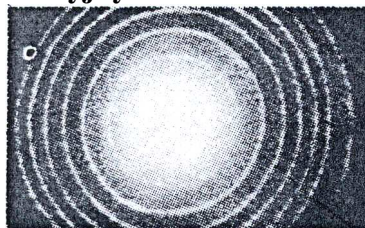
Oto jedno z takich doświadczeń:

Rozpatrzmy wiązkę elektronów poruszających się z pewną prędkością, a następnie wybierzmy jeden elektron i spróbujmy zmierzyć jego położenie oraz prędkość w kierunku osi x. Z wiązki elektronów o pędzie p równoległej do osi Oy wydzielamy za pomocą szczeliny o szerokości  $\Delta x$  w nieprzepuszczalnej przegrodzie wiązkę o określonych wartościach współrzędnej x.



**Rys 1. Ugięcie wiązki elektronów na jednej szczelinie**

Zgodnie z hipotezą de Broglie'a elektrony posiadają pewne własności falowe, więc na ekranie umieszczonym naprzeciwko szczeliny w dużej odległości od niej powstaje obraz dyfrakcyjny.



**Rys.2 Obraz dyfrakcyjny**

**Powstaje prążek jasny dokładnie naprzeciwko szczeliny, otoczony z obu stron na przemian prążkami ciemnymi i jasnymi.**

Zapoznanie uczniów z doświadczeniem

<p>Wyprowadzenie wzoru obrazującego zasadę nieoznaczoności</p>	<p>Rysunek do doświadczenia. Znajomość zależności trygonometrycznych.</p>	<p><b>Kierunek wyznaczony przez pierwsze minimum tworzy z kierunkiem prostopadłym do płaszczyzny, w której jest szczelina kąt <math>\varphi</math>. Kąt ten spełnia warunek (analogicznie jak w przypadku dyfrakcji światła):</b></p> $\Delta x \sin \varphi = \lambda \quad (3)$ <p><b>Podstawiając do powyższej zależności wzór de Broglie'a <math>\lambda = \frac{h}{p}</math> otrzymujemy:</b></p> $\Delta x p \sin \varphi = h \quad (4)$ <p><b>Obraz dyfrakcyjny na ekranie powstaje wskutek tego, że elektrony po przejściu przez szczelinę uzyskują składową pędu <math>\Delta p_x</math> w kierunku osi <math>0x</math>. Aż 96% wszystkich elektronów przechodzących przez szczelinę ulokuje się w granicach pierwszego maximum, a co za tym idzie możemy powiedzieć, że <math>\Delta p_x</math> może osiągać wartość <math>p \sin \varphi</math>.</b></p> <p><b>Biorąc pod uwagę związek (4) otrzymujemy:</b></p> $\Delta x \Delta p = h \quad (5)$	<p>zeniem potwierdzającym zasadę nieoznaczoności</p>
<p>Podanie definicji i zapisanie wzoru określającego zasadę nieoznaczoności.</p>	<p>Wyprowadzenie wzoru</p>	<p><b>W momencie kiedy uwzględnimy również te elektrony, które wyszły poza obręb głównego maximum to związek (5) zapiszemy w postaci :</b></p> $\Delta x \Delta p \geq h \quad (6)$ <p><b>Powyższy związek przedstawia więc zasadę nieoznaczoności Heisenberga .</b></p> <p><b>Po przejściu elektronów przez szczelinę otrzymaliśmy z dokładnością do <math>\Delta x</math> informacje dotyczące współrzędnej <math>x</math> elektrony przed szczeliną, ale w zamian za to powstała nieokreśloność składowej pędu. Z zasady tej wynika, że im dokładniej wyznaczamy współrzędną wzdłuż dowolnej osi, tym większa jest nieokreśloność składowej pędu wzdłuż tej samej osi. Zasada nieoznaczoności dotyczy samej natury obiektów mikroświata i nie wynika z niedokładności przyrządów pomiarowych. Przyrządy pomiarowe narzucają dodatkowe</b></p>	<p>Zapoznanie uczniów ze wzorem obrazującym</p>
<p>Wprowadzenie</p>			

nie zasady nieoznaczoności wiążącej energię i czas	Wielkości: E, t oraz ich jednostki.	<p><b>ograniczenia na dokładność mierzonych par wielkości objętych zasadą nieoznaczoności.</b></p> <p>W fizyce klasycznej energia jest dokładnie określona i zachowana. W mechanice kwantowej jest spełniona zasada zachowania energii, tylko w ramach relacji nieoznaczoności. Oznacza to, że występuje zawsze niepewność energii <math>\Delta E</math> związana z niepewnością czasu <math>\Delta t</math> analogicznym wzorem jak niepewność pędu i położenia:  <math display="block">\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar</math></p>		zasadę nieoznaczoności
Podsumowanie	Wiadomości zdobyte na lekcji	<p>Zasada nieoznaczoności wyjaśnia nam również fakt dwoistej, czyli falowo – korpuskularnej natury światła. Wynika to stąd, iż te dwa przeciwstawne aspekty nie mogą się ujawnić jednocześnie w tych samych warunkach doświadczalnych. Dlatego też, jeżeli będziemy badać charakter falowy elektronu to jego korpuskularne oblicze będzie utajone. Natomiast podczas badania natury korpuskularnej będzie utajony charakter falowy elektronu. Możemy cząstki i fotony porównać do monet, które w danym momencie możemy oglądać jedynie z jednej strony.</p>		Zapoznanie uczniów z zasadą nieoznaczoności wiążącą energię i czas
Pytania kontrolne:	Wiadomości zdobyte na lekcji	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Czy istnieje kres naszego poznania?</li> <li>2. Czy zasada nieoznaczoności Heisenberga jest słuszna tylko w mikroświecie?</li> <li>3. Dlaczego w makroświecie zasada nieoznaczoności Heisenberga nie znajduje uzasadnienia w jej stosowaniu?</li> </ol> <p>Zad.  Elektron ma prędkość 300km/s zmierzoną do 0,01%. Z jaką największą dokładnością możemy określić położenie elektronu.</p>		Utrwalenie wiadomości

Temat lekcji (nr 5):  
**Tunelowanie**

Typ lekcji: wprowadzająca

Cele dydaktyczne – ogólne: zapoznanie uczniów z zjawiskiem tunelowania, jakie występuje w mikroświecie.

**Cele operacyjne:**

<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
uczeń: definiuje pojęcia: jama potencjału, bariera potencjału; podaje wzór na energię cząstki w obszarze zamkniętym; wyjaśnia i podaje jednostki następujących symboli: $E$ , $m$ , $n$ , $h$ , $p$ , $\lambda$ ;	uczeń: wyjaśnia na czym polega zjawisko tunelowe; opisuje jak zachowuje się cząstka posiadająca określoną energię, przechodząc przez barierę potencjału; wyjaśnia dlaczego cząstka w mikroświecie przyjmuje tylko określone wartości energii; wyjaśnia dlaczego energia cząstki nigdy nie przyjmuje wartości równej 0;	uczeń: wskazuje podobieństwa i różnice pomiędzy: energią obliczaną w mikroświecie a energią obliczaną w makroświecie; omawia przykład zachowania falocząstek w jamie potencjału;	uczeń: uzasadnia, że w świetle mechaniki kwantowej efekt tunelowy jest dozwolony; podaje dodatkowe przykłady cząstki w studni oraz bariery potencjału dla cząstek;

**Metody pracy: pogadanka, wykład, pokaz**

Forma organizacyjna : zbiorowa

Środki dydaktyczne: podręcznik, plansze obrazujące doświadczenia, filmy

Przebieg lekcji

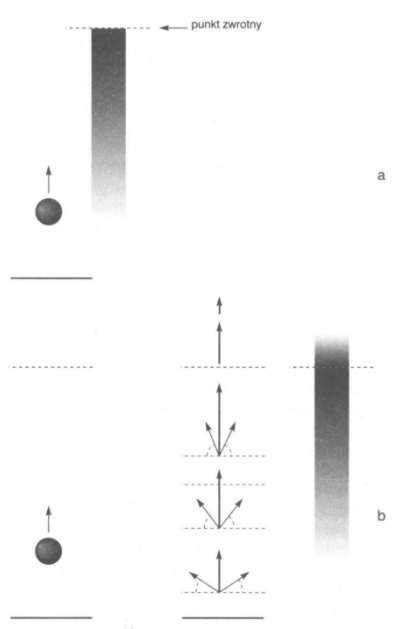
ZADANIA	WARUNKI	<i><b>CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA</b></i>	CZYNNOŚCI UCZNIWA	WYNIK
Wprowadzenie do zjawiska tunelowania	Budowa wewnętrzna metalu	Atomy w metalu tworzą sieć krystaliczną, a zewnętrzne ich elektrony wędrują od jednego do drugiego atomu i dlatego można je uważać za swobodne (jest to tzw. gaz		

Porównanie klasycznie i kwantowo zachowania podskakującej kulki – **model tunelowania**

Doświadczenie myślowe. Obserwacja otaczającego świata.

elektronowy). Zderzają się one z innymi elektronami i rdzeniami atomowymi tracąc część energii. Zderzenia powodują niewielką wibrację sieci. Elektrony mogą więc stracić energię lub zyskać. Istnienie gazu czyni metal przewodnikiem. Przy powierzchni elektrony są przyciągane przez dodatnio naładowane rdzenie atomowe. Przy odpowiednich warunkach mamy do czynienia z tunelowaniem elektronów.

Wyobraźmy sobie kulkę podskakującą sprężystości. Okres jej drgań zależy od wysokości, a zatem od energii potencjalnej. To czy kulka porusza się w górę czy w dół są to 2 nierozróżnialne stany (tzn. jeśli będziemy robić kulce migawkowe zdjęcia nie będziemy wiedzieć czy porusza się ona w danym momencie w górę czy w dół).



*Rys.1. Kulka podskakująca sprężystości.*

Zapoznanie uczniów z pojęciem tunelowania.

<p>Zagadnienie bariery</p>	<p>Pojęcie fali de Broglie'a, pojęcie</p>	<p><i>Klasycznie:</i> spadając kulka zmienia stale swoją prędkość (najwyżej <math>V=0</math>, a najniżej <math>V_{\max}</math>); częstotliwość występowania kulki w górnej części toru jest największa (<i>Rys.1a</i>)</p> <p><i>Kwantowo:</i> Kulka może znaleźć się powyżej punktu zwrotnego (<b>tunelowanie</b>). Prawdopodobieństwo znalezienia jej szybko zmniejsza się wraz z odległością od tego punktu. (<i>Rys.1b</i>)</p> <p><b>Np. Gdyby elektron znajdujący się w metalu oddalałby się od jego powierzchni natychmiast zostałby wciągnięty z powrotem przez siły elektryczne pochodzące od rdzeni atomów.</b></p> <p>(Cząstka poruszając się ku górze ma coraz mniejszą prędkość, zatem strzałki amplitud prawdopodobieństwa poruszają się wolniej i odchylają się na mniejszy kąt aż przestaną się poruszać i w górnym punkcie amplitudy <b>dodają się</b> a następnie gwałtownie ulegną skróceniu, (co wynika z reguły teorii kwantów: amplitudy <b>nie mogą</b> w sposób nieciągły spaść do zera). Prawdopodobieństwo znalezienia kulki na danej wysokości jest proporcjonalne do kwadratu długości wypadkowej strzałki.</p> <p>Na powierzchni natomiast amplitudy prawdopodobieństwa <b>znoszą się</b>, zatem prawdopodobieństwo znalezienia tam cząstki wynosi <b>0!</b>) (<i>Rys.1b</i>)</p> <p>Padająca fala de Broglie'a (np. elektrony, które posiadają naturę falową, bo ulegają dyfrakcji)</p>		<p>Porównanie zachowania się podskakującej kulki w ujęciu klasycznym i kwantowym.</p>
----------------------------	---	---	--	---

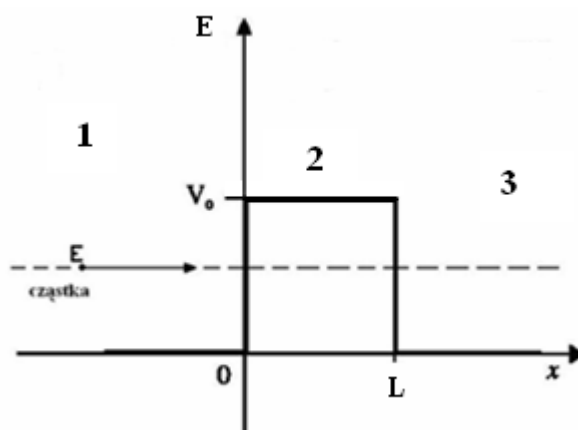
potencjału, oraz zachowanie się cząstki mikroskopowej w jej pobliżu.

energii,

na barierę potencjału zostanie na granicy podzielona na falę przechodzącą i odbitą. Fala rozchodząca się ze lewej do prawej odpowiada cząstkom poruszającym się w kierunku bariery. Przechodzeniem cząstek przez barierę potencjału można wyjaśnić cały szereg zjawisk. Przypuśćmy, że strumień cząstek pada na barierę o skończonej grubości:

$$V(x) = \begin{cases} 0; & x < 0 \\ V_0; & 0 < x < L \\ 0; & x > L \end{cases}$$

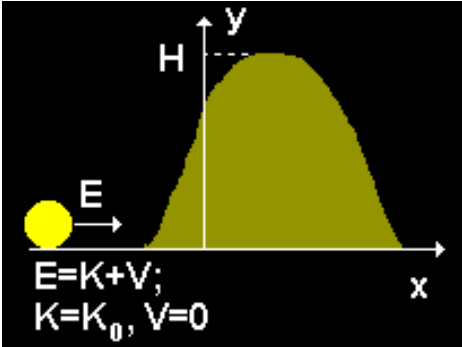
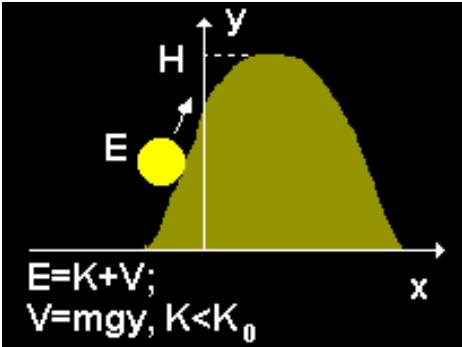
pokazaną na rysunku 2.

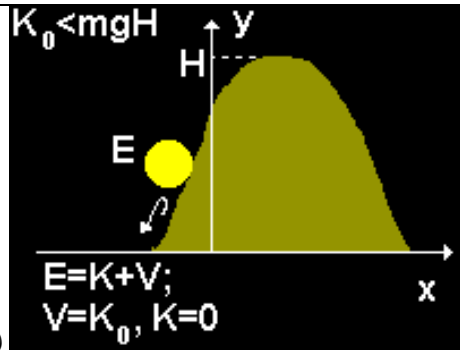


Rys.2. Bariera potencjału.

W wyniku działania sił energia potencjalna cząstek jest równa zero wszędzie poza obszarem  $0 < x < L$ , gdzie energia potencjalna cząstek ma stałą wartość  $V_0$ . Taki obszar nazywamy barierą potencjału (barierą energii potencjalnej) o wysokości  $V_0$  i grubości  $L$ . Wobec faktu istnienia bariery o skończonej grubości należy oczekiwać dla tego przypadku zarówno odbicia jak i przejścia cząstki przez barierę. Cząstka może przeniknąć przez barierę z prawdopodobieństwem różnym od zera.

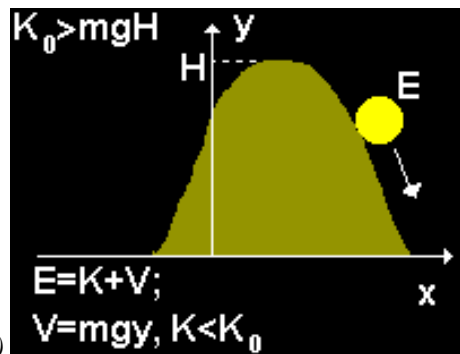
Zapoznanie uczniów z pojęciem bariery potencjału, odbiciem od bariery i

<p>Omówienie zachowania się makroskopowej kulki, posiadającej prędkość i zbliżającej się do bariery – górki.</p>	<p>Przemiana energii kinetycznej w potencjalną i odwrotnie. Zasada zachowania energii.</p>	<p>Współczynnik przejścia w przypadku quasi – klasycznym jest mały.</p> <p>Zgodnie z <b>mechaniką klasyczną</b>, jeżeli całkowita energia <math>E</math> jest mniejsza od maksymalnej wartości <math>V_0</math> potencjału, to cząstka odbija się od bariery potencjału, natomiast jeżeli <math>E &gt; V_0</math> to cząstka przechodzi swobodnie.</p> <p>Wyobraźmy sobie klasyczną kulkę o masie <math>m</math>, oraz energii kinetycznej początkowej <math>K_0</math>, która biegnąc z lewej strony na prawą napotyka na barierę w postaci wału (górkę) o wysokości <math>H</math> jak na rysunku.:</p>  <p>a)</p> <p>Energia całkowita tej cząstki <math>E</math> to suma energii kinetycznej <math>K</math> i potencjalnej <math>V</math>: <math>E = K+V</math>.</p> <p>Co się stanie z kulką jeśli <math>K_0 \leq mgH</math>:</p>  <p>b)</p>	<p>przenikaniem przez nią.</p> <p>Jeśli energia kinetyczna <math>K_0</math> jest mniejsza bądź równa energii potencjalnej kulki znajdującej się na szczycie góry: <math>K_0 \leq mgH</math>, wówczas kulka stoczy się z powrotem ze</p>
--	--	--	---



c)

Co się stanie z kulką jeśli  $K_0 > mgH$ :



d)

Rys.3. Bariera w postaci góry

zbozca.

Jeśli energia kinetyczna  $K_0$  jest większa od energii potencjalnej kulki znajdującej się na szczycie góry:

$K_0 > mgH$ , wówczas kulka przetoczy się przez szczyt i znajdzie się po drugiej stronie góry.

Cząstka zdoła się wspiąć na wał (pomijając tarcie), jeżeli jej energia jest dostatecznie duża.

Wówczas jej prędkość przed wspię-

Omówienie

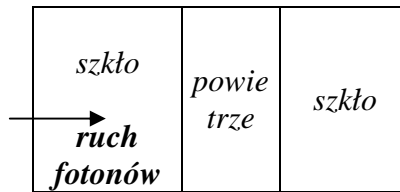
Pokazanie

<p>przykładów, w jaki sposób cząstka tuneluje przez barierę (np. bariera prostokątna, trójkątna, fale o różnych parametrach, 2 fale nałożone na siebie)</p>	<p>(Płyta – tunelowanie, filmy)</p>	<p>Wniosek:  Wszystkie kulki poruszające się z taką samą prędkością przed górką będą zachowywać się identycznie. Oznacza to, że w mechanice <b>klasycznej</b> wszystkie cząstki, które poruszają się w tym samym polu sił i mają te same <b>warunki początkowe</b>, będą w każdej późniejszej chwili zachowywać się identycznie.  Inaczej jest w mikroświecie:  Mimo, iż cząstki będą miały te same warunki początkowe, mogą zachować się różnie.</p> <p><i>Aby dowiedzieć się jak przebiegają zjawiska kwantowe, spróbujmy sobie wyobrazić analogiczną sytuację zachodzącą dla ruchu falowego, gdyż w rzeczywistości fala materii porusza się dokładnie tak samo jak np. fala głosowa lub dźwiękowa. W celu interpretacji obserwacji ruchu fal materii prześledźmy następujące doświadczenia.</i></p>	<p>ciem na wał będzie większa niż na górze wału (<math>v_2 &lt; v_1</math>).  Zsuwając się z niego odzyska utraconą prędkość. Jednak w przy-padku, gdy e-nergia kinetyce-na cząstki jest niewielka, nie będzie ona w stanie wspiąć się na wał.</p>	<p>zachowania się kulki wtaczającej się na górkę w ujęciu klasycznym</p> <p>Pokaz w jaki sposób cząstka tuneluje przez barierę.</p>
	<p>Zjawisko odbicia</p>			

**Przykład nr 1:**

Zachowanie się fali świetlnej na granicy dwóch ośrodków.

Zastanówmy się nad analogiczną sytuacją, w której falocząstki będą się poruszać w sposób przedstawiony na rys.



Rys.4. Ruch falocząstek.

Łatwo możemy zauważyć podobieństwo do sytuacji omawianej powyżej. Jak wiemy prędkość światła w szkłe jest mniejsza niż w powietrzu. Wobec tego na granicy szkło – powietrze nastąpi częściowe odbicie fali tzn. tylko jej część przedostanie się do obszaru wypełnionego powietrzem. Ta część fali będzie się poruszać z prędkością większą niż w szkłe aż do momentu ponownego napotkania granicy ośrodków. Także w tym miejscu ulegnie częściowemu odbiciu, a część która przedostanie się do szkła będzie biec dalej.

W identyczny sposób będzie się zachowywać każda inna fala materii np. fala elektronowa. Jeżeli dobiegnie do momentu, w którym energia potencjalna cząstek zmaleje, częściowo ulegnie odbiciu, a częściowo zostanie przepuszczona. Na brzegach powstanie więc fala odrzucona wstecz.

Jeżeli cząstka, która ma własności falowe, przechodzi przez granicę dwóch obszarów ekwipotencjalnych, możemy spodziewać się fali przechodzącej i odbitej. Wszystkie te fale opisuje tzw. *funkcja falowa*, która jest związana z prawdopodobieństwem

Przedstawienie zachowania się fali świetlnej na granicy szkło powietrze jako przykładu tunelowania.

**Przykład nr 2:**

Udaremniowane (złamane)

Całkowite

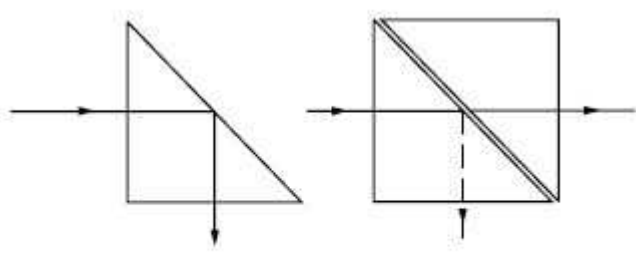
całkowite  
wewnętrzne  
odbicie.

wewnętrzne odbicie

Budowa mikroskopo-  
wa metalu.

przepuszczenia lub odbicia cząstki.

Do efektu penetracji bariery istnieje klasyczna analogia. Weźmy pod uwagę promień świetlny, padający pod kątem prostym na ściankę pryzmatu o kącie łamiącym  $45^\circ$ . Jeśli współczynnik załamania szkła jest  $n > \left(\sin \frac{\pi}{4}\right)^{-1} \approx 1,415$ , to zachodzi całkowite, wewnętrzne odbicie i światło nie wydostaje się przez nachyloną ściankę. Jeżeli jednak do tej ścianki przysuniemy drugi pryzmat dostatecznie blisko, ale tak, by pryzmaty nie stykały się, wiązka światła pojawi się w drugim pryzmacie.



Udaremnione (złamane) całkowite wewnętrzne odbicie

Rys.5.

Udaremnione całkowite wewnętrzne odbicie jest przypadkiem tunelowania obserwowanego w dziedzinie fal elektromagnetycznych. Okazuje się, że podobny efekt występuje w przypadku fal mechanicznych, co łatwo stwierdzić przeprowadzając odpowiedni eksperyment dla fal wytworzonych na powierzchni wody. Można więc powiedzieć, że e.t. jest zjawiskiem charakterystycznym dla ruchu falowego. Występowanie tego efektu w przypadku cząstek mikroświata jest jeszcze jednym przejawem dualizmu korpuskularno falowego materii.

Przedsta-  
wienie  
złamanego  
całkowitego  
wew-  
nętrznego  
odbicia jako  
przykładu  
tunelowania.

<p><b>Przykład nr 3:</b></p> <p>Połączenie dwóch przewodników.</p>		<p>Przykładem mikroskopowego przenikania cząstek przez barierę może być przykład szeroko rozpowszechnionej domowej instalacji elektrycznej z drutu aluminiowego. Zwykły sposób, jaki stosuje elektryk w celu połączenia dwóch drutów polega na skręceniu ich razem między sobą. Między obydwoma drutami występuje bardzo często warstwa tlenku glinu, który jest całkiem niezłym izolatorem. Na szczęście warstewka ta jest bardzo cienka, więc elektrony płynące po drucie są w stanie przetunelować przez nią drogą przenikania przez barierę.</p>	<p>Przedstawienie połączenia dwóch przewodników jako przykładu tunelowania.</p>
<p><b>Przykład nr 4:</b></p> <p>Rozpad promieniotwórczy</p>	<p>Rozpad alfa</p>	<p>Rozpad promieniotwórczy – zachodzący samorzutnie. Nie można przewidzieć, które jądro się rozpadnie i kiedy. Prawdo-podobieństwo rozpadu nie zależy od historii (czasu oczekiwania) ani też od czynników zewnętrznych (ciśnienie, temperatura,...). Rozpad alfa (przemiana <math>\alpha</math>) to reakcja jądrowa rozpadu, w której emitowana jest cząstka alfa (jądro helu <math>{}^4_2\text{He}^{2+}</math>). Cząstka ta ma ogromną energię wiązania. Strumień emitowanych cząstek alfa przez rozpadające się jądra to promieniowanie alfa.</p> <p>Zapis reakcji rozpadu jądra atomu uranu – 238 (<math>{}^{238}\text{U}</math>):</p> ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}^{2+}$ <p>Emitowane cząstki mają zazwyczaj energię kinetyczną około 5 MeV, co odpowiada prędkości 15,000 km/s. W rozpadzie <math>\alpha</math>, cząstka <math>\alpha</math> formuje się już w jądrze i jest odpychana siłami <b>elektrostatycznymi</b> i przyciągana oddziaływaniami <b>silnymi</b> pozostałej części jądra. W niewielkiej</p>	<p>Przedstawienie rozpadu</p>

<p>Powtórzenie nowo poznanego materiału.</p>	<p>Pojęcia poznane na lekcji.</p>	<p>odległości od jądra siły przyciągania jądrowego przeważają, a w większej przeważają siły odpychania. Cząstka <math>\alpha</math> ma energię mniejszą od energii potrzebnej na pokonanie sił przyciągania, ale dzięki kwantowemu zjawisku tunelowania przenika przez wąską barierę.</p> <p>(Zjawisko rozpadu <math>\alpha</math> jest między innymi wykorzystywane w konstrukcji czujników dymu, w których rozpadające się jądra pierwiastka Ameryk-241, emitują cząstki <math>\alpha</math>, które są pochłaniane przez dym.)</p> <p>Co rozumiemy pod pojęciem tunelowania?</p> <p>Jak można opisać barierę potencjału?</p> <p>Jakie można podać przykłady tunelowania?</p>	<p>promieniotwórczego jako przykładu tunelowania.</p> <p>Utrwalenie pojęć poznanych na lekcji.</p>
--	-----------------------------------	--	--

## Temat lekcji (nr 6):

### Rodzaje nanostruktur

Typ lekcji: wprowadzająca

Cele dydaktyczne – ogólne: Przedstawienie rodzajów nanostruktur. Omówienie energii cząstki w zamkniętym obszarze.

#### Cele operacyjne:

<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
<p>uczeń: wymienia rodzaje nanostruktur; podaje wzór na energię cząstki w zamkniętym obszarze;</p> <p>podaje znaczenie symboli we wzorze na energię; takich jak: <math>h</math>, <math>m</math>, <math>p</math>;</p> <p>definiuje pojęcie drutu kwantowego, kropki kwantowej oraz studni kwantowej;</p>	<p>uczeń: wyjaśnia powstawanie poszczególnych nanostruktur; wyjaśnia dlaczego cząsteczka zamknięta w pewnym obszarze nie może posiadać energii równej zero;</p>	<p>uczeń: oblicza energie dla poszczególnych poziomów energetycznych; porównuje energię cząstki w ujęciu klasycznym i kwantowym;</p>	<p>uczeń: przewiduje zachowanie cząstki w zamkniętym obszarze; wyszukuje dodatkowe przykłady cząstki mikroskopowej w zamkniętym obszarze;</p>

#### Metody pracy: wykład, pogadanka

Forma organizacyjna : zbiorowa

Środki dydaktyczne: podręcznik, plansze obrazujące doświadczenia

#### Przebieg lekcji

ZADANIA	WARUNKI	<i>CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA</i>	CZYNNOŚCI UCZNI	WYNIK
Wstęp obrazujący zachowanie	Budowa mikroskopowa metalu. Pojęcie po-	Elektron w metalu <b>nie zachowuje</b> się jak swobodna cząstka mająca dowolną energię.		

<p>wanie elektronu w metalu i energii możliwe do osiągnięcia przez elektron.</p> <p>Przedstawienie struktur w jakich mogą występować elektrony ze względu na ograniczenie ich ruchów.</p>	<p>zomów energetycznych i przerw energetycznych.</p> <p>Budowa metalu. Sposoby wytwarzania heterostruktur.</p>	<p>Energia elektronu jest ograniczona do pewnych szczególnych poziomów energetycznych. Przerwy między dozwolonymi poziomami energii są małe. Przerwą energetyczną są energie, które nie mogą występować, ponieważ dla pewnych pędów strzałki amplitudy prawdopodobieństwa nie znoszą się na krawędziach. Natomiast dozwolone wartości energii to pasma. W obrębie pasma znajduje się duża liczba gęsto rozmieszczonych dozwolonych poziomów energetycznych. Elektrony w paśmie mają energię różniącą się od siebie wg zakazu Pauliego (dwa elektrony nie mogą zajmować tego samego poziomu energetycznego).</p> <p>W metalu pasmo o najwyższej energii nie jest całkowicie wypełnione. Elektron może otrzymać porcję energii i przesunąć się na poziom wyższy co daje przepływ prądu. Pasma całkowicie wypełnione to pasma przewodnictwa. Następny poziom leżący wyżej oddzielony jest przerwą. Jeśli chcemy dostarczyć energii elektronom, ale jest ona mniejsza niż przerwa pomiędzy poziomami, to nie mogą one wówczas przejść wyżej i prąd nie płynie (izolator), a pasmo takie nazywamy walencyjnym.</p> <p>Elektron można zamknąć pomiędzy dwiema strukturami (hodowla warstw epitaksjalnych – wzrost kryształu przez nakładanie kolejnych pojedynczych warstw atomowych) co doprowadzi do zjawisk, w których ujawnia się jego kwantowa natura.</p>		<p>Uczniowie zapoznają się z zachowaniem elektronu w metalu i energiami możliwymi do osiągnięcia przez elektron.</p>
---	--	---	--	--

Kontrolując rodzaj nakładanych atomów można wytworzyć wiele „sztucznych” struktur – **heterostruktur** (kryształy wytworzone z kilku materiałów). Pomiedzy powierzchniami rozdziału elektrony są uwięzione w tak cienkiej warstwie, że ich **poziomy energetyczne** podlegają kwantowym ograniczeniom – pojawia się tzw. kwantowy efekt niskowymiarowy. Równolegle do powierzchni rozdziału elektrony zachowują się tak swobodnie jak w masywnym półprzewodniku. Otrzymuje się wówczas płaski gaz elektronowy 2DEG (z ang. *two dimensional electron gas*). Elektrony można jeszcze bardziej ograniczyć – zmusić do poruszania się po linii – 1DEG (**drut kwantowy**) lub 0DEG (**kropka kwantowa**) – pudełko zawierające 100 elektronów, których energie ruchu w każdym kierunku są ograniczone dając w rezultacie dyskretne poziomy energetyczne (sztuczny atom).

#### **Rodzaje struktur**

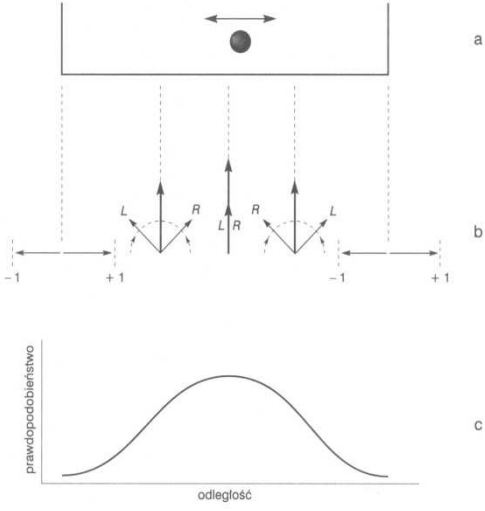
•**3D – półprzewodnik objętościowy (lity)** – Ruch nośników nie jest ograniczony w żadnym kierunku

•**2D – studnia kwantowa dwuwymiarowa (warstwa półprzewodnikowa)** – Ruch nośników jest ograniczony w jednym wymiarze

•**1D – drut kwantowy** – Ruch nośników ograniczony w dwóch wymiarach

•**0D – kropka kwantowa (pudełko kwantowe, nanokryształ, sztuczny atom)** –

Zapoznanie uczniów z pojęciem heterostruktur oraz rodzajami

<p>Model kulki poruszającej się pomiędzy dwoma ściankami jako przykład ograniczenia energii cząstki mikroskopowej.</p>	<p>Pojęcie prawdopodobieństwa i amplitudy prawdopodobieństwa.</p>	<p>Ruch nośników ograniczony w trzech wymiarach</p> <p>Wyobraźmy sobie bilardowy oscylator: kula odbija się sprężysto pomiędzy dwiema ścianami. Okres oscylatora zależy od prędkości, z jaką porusza się kula, a więc od energii. Na podstawie praw Newtona drgająca cząstka wędruje między ściankami ze stałą (dowolną) prędkością. Z hipotezy Plancka natomiast wynika, że cząstka mająca określone wartości energii <b>nie może</b> poruszać się z dowolną prędkością.</p>  <p>od dwóch nieprzenikliwych ścian (a); prawdopodobieństwo znalezienia kulki w określonym czasie w pewnym punkcie pomiędzy ścianami określa amplituda prawdopodobieństwa w postaci strzałki (b); wykres zależności prawdopodobieństwa znalezienia cząstki od odległości od ścianek (c) – dodajemy strzałki w danym punkcie, a prawdopodobieństwo jest proporcjonalne do kwadratu długości strzałki wypadkowej.</p> <p>Przyjmujemy, że niewielka cząstka</p>	<p>heterostruktur.</p>
--	---	---	------------------------

porusza się tam i z powrotem po linii prostej z tą samą prędkością odbijając się od ścianek (a). Prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w dowolnym punkcie jest jednakowe (**klasycznie**). Jeśli jednak jest to cząstka kwantowa prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w środku jest znacznie większe niż gdzie indziej i zerowe na krawędziach (c). Prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w określonym czasie w pewnym punkcie pomiędzy ściankami określa amplituda.

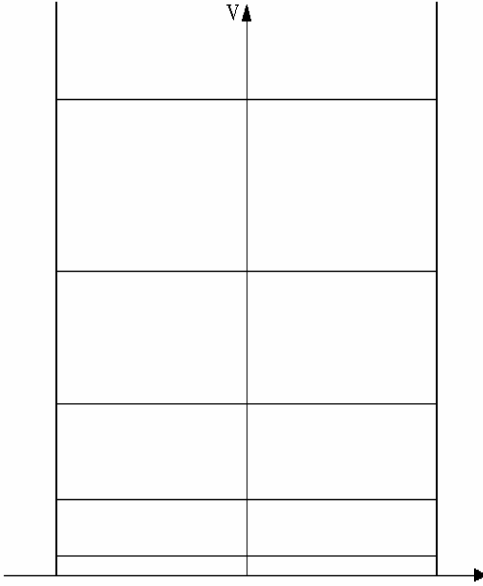
Amplitudy prawdopodobieństwa (przedstawione w postaci strzałek) przy ściankach dla kulki poruszającej się w lewo i w prawo całkowicie się znoszą, zatem prawdopodobieństwo znalezienia cząstki na którymś z końców jest równe **zeru** (+1 dla amplitudy cząstki znajdującej się na lewym krańcu i poruszającej się w prawo, a -1 dla amplitudy cząstki znajdującej się na tym krańcu i poruszającej się w lewo).

W środku amplitudy się sumują, dając **duże** prawdopodobieństwo.

W punktach pośrednich amplitudy znoszą się **częściowo**. Jedna strzałka rozpięta jest pomiędzy 0 a +1, a druga pomiędzy 0 a -1. Strzałki obracają się w przeciwne strony: jeśli cząstka porusza się w prawo, to obracają się kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, a jeśli cząstka porusza się w lewo, to kierunek obrotu strzałek jest zgodny z ruchem wskazówek zegara. To o ile obracamy strzałkę zależy od tego jak daleko jesteśmy od krawędzi

<p>Wyprowadzenie wzoru na energię cząstki w zamkniętym obszarze.</p>	<p>Pojęcie bariery potencjału. Pojęcie energii, fali stojącej oraz takich wielkości jak:</p> <p><math>h</math> - stała Plancka,  <math>m</math> - masa cząstki,  <math>\lambda</math> - długość fali,  <math>p</math> - pęd cząstki.</p>	<p>i z jaką prędkością porusza się cząstka (kąt pomiędzy nimi jest proporcjonalny do iloczynu pędu cząstki i jej odległości od krawędzi).</p> <p>Minimalny kąt obrotu strzałek wynosi <math>180^\circ</math>, a zależy on od pędu, zatem dana prędkość może nie odpowiadać obrotowi o <math>180^\circ</math> stąd wynika, że <b>nie każda prędkość jest dozwolona</b> (ograniczenia na <b>energię</b> – założenie Plancka).</p> <p>Stan o najniższej energii nie odpowiada cząstce <b>nieruchomej!</b></p> <p>Wyprowadźmy wzór na energię elektronu zamkniętego w pewnym obszarze np. w studni kwantowej. Ogranicza ona ruch cząstek w jednym wymiarze przez bariery potencjału. Będziemy brali pod uwagę nieskończoną studnię kwantową tzn. potencjał bariery jest nieskończony, czyli cząstka o żadnej energii nie może przeniknąć w głąb bariery.</p> <div data-bbox="710 1254 1093 1792" data-label="Figure"> </div> <p>Rys.2. Nieskończona dwuwymiarowa studnia kwantowa.</p> <p>Sytuację tę możemy odnieść do przypadku</p>	<p>Omówienie prawdopodobieństwa z jakim można zaobserwować kulkę w zamkniętym obszarze w ujęciu klasycznym i kwantowym.</p>
--	--	---	---

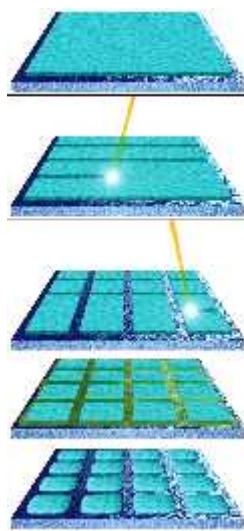
<p>Obliczanie energii dla kolejnych poziomów</p>	<p>Wzór na energię cząstki w studni potencjału.</p> <p>Wartości energii dla kolejnych poziomów energetycznych.</p>	<p>ruchu elektronu zamkniętego w strefie oddziaływania jądra atomu. W atomie możliwe stany odpowiadają sytuacjom, w których fala elektronu tzw. fala de Broglie'a tworzy falę stojącą. Zarówno cząstkę w jamie jak i elektron w atomie możemy porównać do przypadku struny umocowanej z obu końców. To znaczy, jeżeli zgodnie z teorią de Broglie'a elektronowi „wibrującemu” między ściankami studni potencjału przypiszemy pewną długość fali <math>\lambda</math>, to elektronowa fala stojąca będzie mogła powstać jedynie wtedy, gdy spełniony będzie warunek podobny do warunku powstania fali stojącej w strunie o długości <math>a</math>. Należy pamiętać, że warunkiem powstania takiej fali jest, aby w długości struny mieściła się całkowita wielokrotność połowy długości fali, czyli:</p> $n \frac{\lambda}{2} = a \quad \text{gdzie } n = 1, 2, 3, \dots$ <p>Jeżeli dla fali de Broglie'a spełnione jest powyższe równanie, to pęd elektronu będzie się wyrażał następująco:</p> $p = \frac{h}{\lambda} = n \frac{h}{2a},$ <p>zaś jego energia kinetyczna:</p> $E = \frac{p^2}{2m} = n^2 \frac{h^2}{8ma^2}.$ <p>gdzie <math>n</math> - jest dowolną <u>liczbą naturalną</u>;</p> <p><math>h</math> - stałą Plancka;</p> <p><math>m</math> - masą cząstki;</p> <p><math>a</math> - szerokością studni.</p>		<p>Zapoznanie</p>
--	--	---	--	-------------------

<p>energetycznych.</p> <p>Rysowanie kolejnych poziomów energetycznych.</p>		<p>Widać zatem, że energia elektronu zamkniętego w studni potencjału przyjmuje tylko wartości dyskretne tzn., że cząstka w nieskończonej studni kwantowej nie może posiadać dowolnej energii.</p> <p>Obliczmy energię stanu podstawowego oraz energię kilku kolejnych poziomów energetycznych.</p>  <p><i>Rys.3. Poziomy energetyczne w nieskończonej prostokątnej studni potencjału (dozwolone energie dla cząstki).</i></p> <p>W skończonej prostokątnej studni kwantowej potencjał bariery przyjmuje skończoną wartość i zmiana potencjału następuje skokowo. W przypadku skończonej studni kwantowej również następuje dyskretyzacja energii, przy czym w studni musi się znajdować przynajmniej jeden poziom energetyczny.</p> <p>Potencjał prostokątnej studni jest przybliżeniem reprezentującym potencjał działający na elektron przewodnictwa w bloku metalu. Potencjał ten wytwarzany jest przez gęsto ułożone dodatnie jony metalu.</p>	<p>Energia stanu podstawowego wynosi:</p> $E_1 = \frac{h^2}{8ma^2}$ $E_1 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ $E_2 = \frac{h^2}{2ma^2}$ $E_2 = \frac{2\pi^2 \hbar^2}{ma^2}$	<p>uczniów ze wzorem na energię cząstki w studni potencjału.</p> <p>Zapoznanie uczniów z pojęciem poziomów energetycznych.</p>
--	--	---	---	--

<p>Wytwarzanie drutów kwantowych.</p>	<p>Pojęcie wiązki elektronów oraz bariery potencjału.</p>	<p>Niektóre z najważniejszych własności jądra, które składa się z protonów i neutronów, wyjaśnić można przy pomocy stanów kwantowych neutronów i protonów poruszających się w potencjale prostokątnej studni o skończonej głębokości.</p> <p>Jak powstają np. druty bądź kropki kwantowe?</p> <p>Wycinanie drutów kwantowych ze struktur dwuwymiarowych możliwe jest za pomocą dobrze zogniskowanej wiązki elektronowej. Cięcie takim nożem polega na niszczeniu przez wiązkę materiału i wytwarzaniu <b>barier</b>, do których elektrony nie mogą się przedostać. Jeśli wyobrazić sobie dwa cięcia wiązką elektronową w postaci linii równoległych do siebie i oddległych o około 100 Å, to pozostaje pomiędzy nimi nienaruszony kryształ tworzący drut kwantowy.</p> <p>Istnieją również inne metody wytwarzania jednowymiarowych drutów kwantowych, wykorzystujące zjawiska samoorganizacji w procesie wzrostu i nie wymagające już cięcia wiązką elektronową. Mogą one być z powodzeniem stosowane w praktyce, co umożliwia otrzymanie układu, w którym elektrony poruszają się w jednym wymiarze.</p> <p>Wreszcie można sobie wyobrazić, że druty kwantowe potniemy na kawałki. Jeśli wykorzystamy do tego jedną z wymienionych metod, np. dobrze zogniskowaną wiązkę elektronów, będziemy zdolni wycinać obszary, których i trzeci wymiar będzie rzędu 100 Å lub mniejszy. Elektrony znajdują się</p>		
---------------------------------------	---	---	--	--

Wytwarzanie kropek kwantowych.

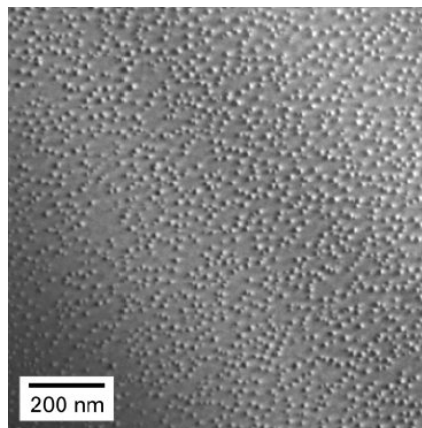
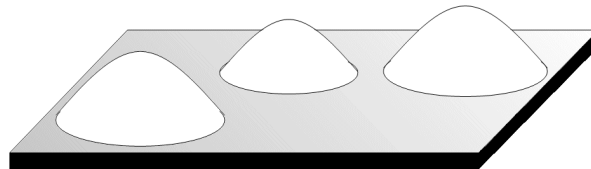
uwięzione w pudełku o bokach rzędu 100 Å każdy, a zatem ruch w żadnym z tych trzech kierunków stanie się niemożliwy. W języku mechaniki kwantowej mówi się o elektronie (elektronach) zamkniętych w pudle. Takie kwantowo-mechaniczne pudło nazywa się kropką kwantową. Z punktu widzenia ruchu swobodnego elektronu jest to układ zerowymiarowy, jako że w żadną stronę ruch wtedy nie jest możliwy.



*Rys.4. Wytwarzanie kropek kwantowych. Na podłoże nanoszona jest bardzo cienka (dwuwymiarowa) warstwa kryształu (a). Za pomocą zogniskowanej wiązki elektronów warstwa cięta jest na paski (b), a następnie w kierunku prostopadłym paski są cięte na kropki kwantowe (c). W wyniku wytrawiania chemicznego miejsc przeciętych powstają oddzielne wysepki (d), „kąty” wysepki zostają zaokrąglone i powstaje struktura oddzielnych kropek kwantowych (e)*

Inny sposób wytwarzania kropek kwantowych to wykorzystywanie metod wzrostu kryształu - układanie warstw atomowych jedna na drugiej. Pierwsza metoda,

choć trudna technicznie i kosztowna, pozwala uzyskiwać kropki kwantowe jednakowe i "porządnie" ułożone. Druga tańsza i technologicznie prostsza, ale prowadzi do pojawienia się kropek o nieco różnych wymiarach i na dodatek bałaganiarsko ułożonych na płaszczyźnie. Mimo że z różnych powodów kropki kwantowe lubią się samoorganizować, nie udaje się ich ułożyć tak porządnie jak w pierwszej metodzie.



*Rys.5. Kropki samorosnące (samoorganizujące się). Najczęściej mają kształt soczewki. Powstają, gdy stałe sieciowe podłoża i materiału krystalizowanego znacznie się różnią (7% w przypadku GaAs i InAs).*

Heterostruktury są wyjściowym materiałem do nanoobwodów.

Co rozumiemy pod pojęciem heterostruktury?

Pytania kontrolne:

Wiadomości zdobyte na lekcji

Zapoznanie uczniów ze sposobami wytwarzania kropek drutów kwantowych.

Utrwalenie wiadomości

		<p>Czy cząstka, która znajduje się w takiej strukturze może przyjmować dowolną energię?</p> <p>Podaj wzór na energię cząstki w studni potencjału?</p> <p>W jaki sposób mogą powstawać heterostrukтуры?</p>		ci.
--	--	--	--	-----

**Temat lekcji (nr 7):**

**Sposoby wytwarzania nanostruktur. STM i AFM.**

Typ lekcji: wprowadzająca

Cele dydaktyczne – ogólne: Poznanie sposobów wytwarzania heterostruktur. Budowa i zasada działania mikroskopów STM i AFM.

**Cele operacyjne:**

<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
uczeń: wymienia metody wytwarzania nanostruktur;	uczeń: rozdziela metody wytwarzania nanostruktur; wyjaśnia budowę i zasadę działania mikroskopów STM i AFM;	uczeń: porównuje metody wytwarzania nanostruktur;	uczeń: wyszukuje dodatkowe informacje na temat nowoczesnych metod wytwarzania nanostruktur;

**Metody pracy: wykład, pogadanka, pokaz**

Forma organizacyjna: zbiorowa

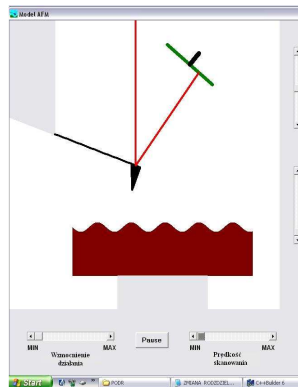
Środki dydaktyczne: podręcznik, plansze obrazujące doświadczenia, aplet

ZADANIA	WARUNKI	<i>CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA</i>	CZYNNOŚCI UCZNI	WYNIK
<p>Podział metod wytwarzania nanostruktur.</p> <p>Opis fotolitografii.</p>	<p>Sposoby wytwarzania nanostruktur.</p> <p><b>Rysunek nr.1</b></p>	<p>Metody nanowytwarzania można podzielić na dwie kategorie:</p> <p><b>metody „z góry na dół”</b>, kiedy redukuje się rozmiary wzoru narysowanego w większej skali (fotolitografia, miękka litografia, metody wykorzystujące skanującą sondę);</p> <p><b>metody „z dołu do góry”</b>, gdy buduje się nanostrukturę z kolejno dodawanych atomów lub cząsteczek.</p> <p><b>Fotolitografia (rys.1)</b> jest to technika stosowana do wytwarzania mikroprocesorów i układów mikroelektronicznych. Jest ona w gruncie rzeczy odmianą fotografii: najpierw robi się odpowiednik fotograficznego negatywu zawierający wzór elementów i połączeń wymagany dla danego mikroukładu, czyli tzw. maski (proces długotrwały i kosztowny), a następnie wykorzystuje się ją do wytwarzania wielu kopii (proces szybki i tani). Wykonanie maski wymaga zaprojektowania rysunku układu w dużej skali, a następnie przekształcenia go we wzór wytrawiony w nieprzezroczystej warstwie metalu (np. chromu) nałożonej na przezroczystą płytkę (np. szklaną lub kwarcową). Następnie zmniejsza się rozmiary tego wzoru: wiązka światła (zwykle nadfioletu z rtęciowej lampy łukowej) przechodzi przez chromową maskę, a następnie przez soczewkę ogniskującą obraz maski na</p>		<p>Poznanie przez uczniów metod wytwarzania nanostruktur.</p>

<p>Opis miękkiej litografii.</p>	<p><b>Rysunek nr. 2</b></p>	<p>fotoczułej warstwie polimerowej (fotorezyst), umieszczonej na powierzchni krzemowej płytki. Te fragmenty fotorezystu, na które padło światło, są następnie selektywnie usuwane, odsłaniając płytkę krzemową, na której powstaje zmniejszona replika pierwotnego wzoru.</p> <p>Fotolitografia konwencjonalna umożliwia producentom układów elektronicznych wytwarzanie trzech miliardów tranzystorów na sekundę. Technika ta posiada jednak poważne ograniczenia. Ponieważ najkrótsze fale stosowanego obecnie nadfioletu mają długość około 250 nm, to wytwarzanie struktur o rozmiarach nieprzekraczających 100 nanometrów nie jest funkcjonalne ze względu na skutki dyfrakcji (rozmycie się i zlewanie szczegółów). Wykorzystanie fotolitografii zatem staje się coraz trudniejsze w miarę zmniejszania się rozmiarów struktur.</p> <p><b>Miękka litografia</b> - nazwę swą zawdzięcza gumowatemu polimerowi (stosowanemu do uszczelniania szpar wokół wanien) – polidimetylosiloksanu, z którego wykonuje się pieczętkę. Technika ta wykorzystuje trzy zasadnicze etapy produkcji:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wykonanie matrycy metodą fotolitografii lub elektronolitografii.</li> <li>2. Zrobienie pieczętki.</li> <li>3. Drukowanie mikrokontaktowe lub formatowanie wzoru.</li> </ol> <p>Przebieg wykonywanych czynności</p>		<p>Poznanie przez uczniów fotolitografii.</p>
--	-----------------------------	--	--	---

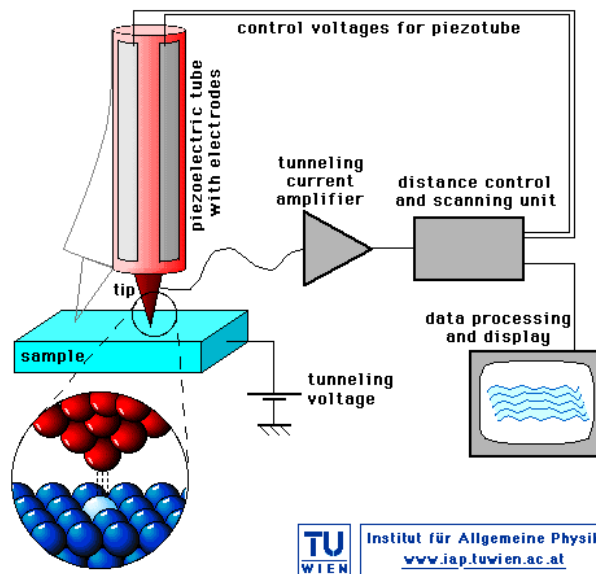
<p>Opis metod wykorzystujących skanującą sondę.</p>		<p>obrazuje rysunek 2.</p> <p>Metoda ta bardzo dobrze nadaje się do wytwarzania elementów optycznych, falowodów i polaryzatorów, które mogą znaleźć zastosowanie w sieciach światłowodowych, a być może nawet w komputerach optycznych. Inne zastosowania to urządzenia wykorzystujące nanoprzepływy, szczególnie obwody do badań biochemicznych z kanałami szerokości jedynie kilku nanometrów (wykorzystanie do rozdzielania np. fragmentów cząsteczek DNA).</p> <p>W dodatku miękką litografią da się wytwarzać nanostruktury z materiałów różnego rodzaju. Umożliwia drukowanie czy wyłaczanie wzorów na zakrzywionych powierzchniach równie dobrze jak na płaskich.</p> <p>Metoda ta pozwala na tanią produkcję wzorów wytwarzanych przy użyciu np. elektronografii, gdyż można z niej korzystać w przeciętnym laboratorium, jednak posiada pewną wadę tj. nie nadaje się do wytwarzania wielowarstwowych struktur współczesnych układów elektronicznych (deformacje miękkiej pieczętki z PDMA powodują niewielkie błędy w dotwarzaniu każdego wzoru i niedopasowanie do już wcześniej wytworzonego).</p> <p><b>Metody wykorzystujące skanującą sondę</b> - opierają się na wykorzystaniu ostrza mikroskopu sił atomowych (AFM) bądź skaningowego mikroskopu tunelowego (STM) do przesuwania nanocząstek i układania z nich wzorów lub do wykonywania rys na</p>		<p>Poznanie przez uczniów miękkiej</p>
---	--	---	--	--

**Aplet z modelem  
mikroskopu**



powierzchni (nagroda Nobla w 1986r. – Heinrich Rohrer i Gerd K. Binnig z laboratorium IBM z Zurychu).

STM (scanning tunneling microscope) wykrywa niewielki prąd tunelowania płynący pomiędzy ostrzem a powierzchnią badanej próbki, co pozwala „zobaczyć” na jej powierzchni pojedyncze atomy.



AFM (atomic force microscope) posiada sondę – włókno lub ostrze o średnicy 2 – 30nm, które doprowadza się do bezpośredniego kontaktu z powierzchnią próbki. Sonda umieszczona jest na końcu dźwigni uginającej się podczas jej przesuwania po powierzchni. Odchylenia mierzy się, wykorzystując dobiecie wiązki światła laserowego od górnej powierzchni dźwigni.

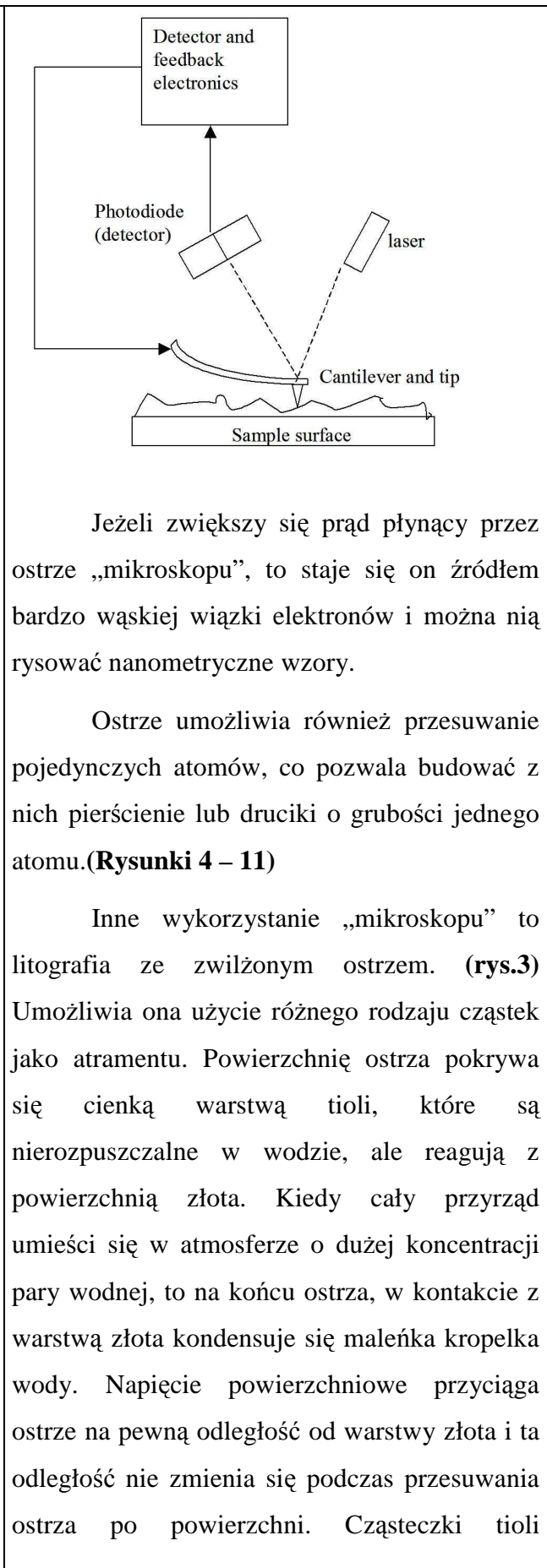
litografii.

Poznanie przez uczniów zasady działania mikroskopu STM

Opis litografii ze zwilżonym ostrzem.

Opis metod „z dołu do góry”.

**Rysunek nr. 3**



i AFM.

<p>Powtórzenie wiadomości.</p>	<p><b>Rysunek nr. 12</b></p> <p>Wiadomości zdobyte na lekcji.</p>	<p>poruszają się po kropelce wody do powierzchni złota i przyczepiają się do niej.</p> <p>Zastosowania tych mikroskopów nie nadają się do masowej produkcji ze względu na powolny proces produkcji nanoukładów.</p> <p>Metody „z dołu do góry” umożliwiają łatwe budowanie struktur o rozmiarach 2 – 10 nm. Jednak wytwarza się je jako pojedyncze cząstki w roztworze lub na powierzchni.</p> <p>Jedną z metod jest wytwarzanie kropek kwantowych. Kropki kwantowe są kryształami zbudowanymi zaledwie z kilkuset atomów. Ponieważ elektrony w kropce kwantowej znajdują się na znacznie od siebie oddalonych poziomach energetycznych, więc wzbudzona kropka emituje światło o jednej, określonej długości fali. Ta właściwość sprawia, że kropki kwantowe są użyteczne dla biologów jako znaczniki substancji chemicznych (sprzedawane przez Quantum Dot Corporation z Hayward w Kalifornii).</p> <p>W jednym ze sposobów wytwarzania kropek wykorzystuje się reakcję chemiczną pomiędzy jony metalu (np. kadmu) i cząsteczkami, które mogą oddawać jony selenu (<b>Rys. 12</b>).</p> <p>Wymień sposoby wytwarzania nanostruktur.</p>		<p>Poznanie przez uczniów metody „z dołu do góry”.</p> <p>Utrwalenie wiadomości.</p>
--------------------------------	---	--	--	--

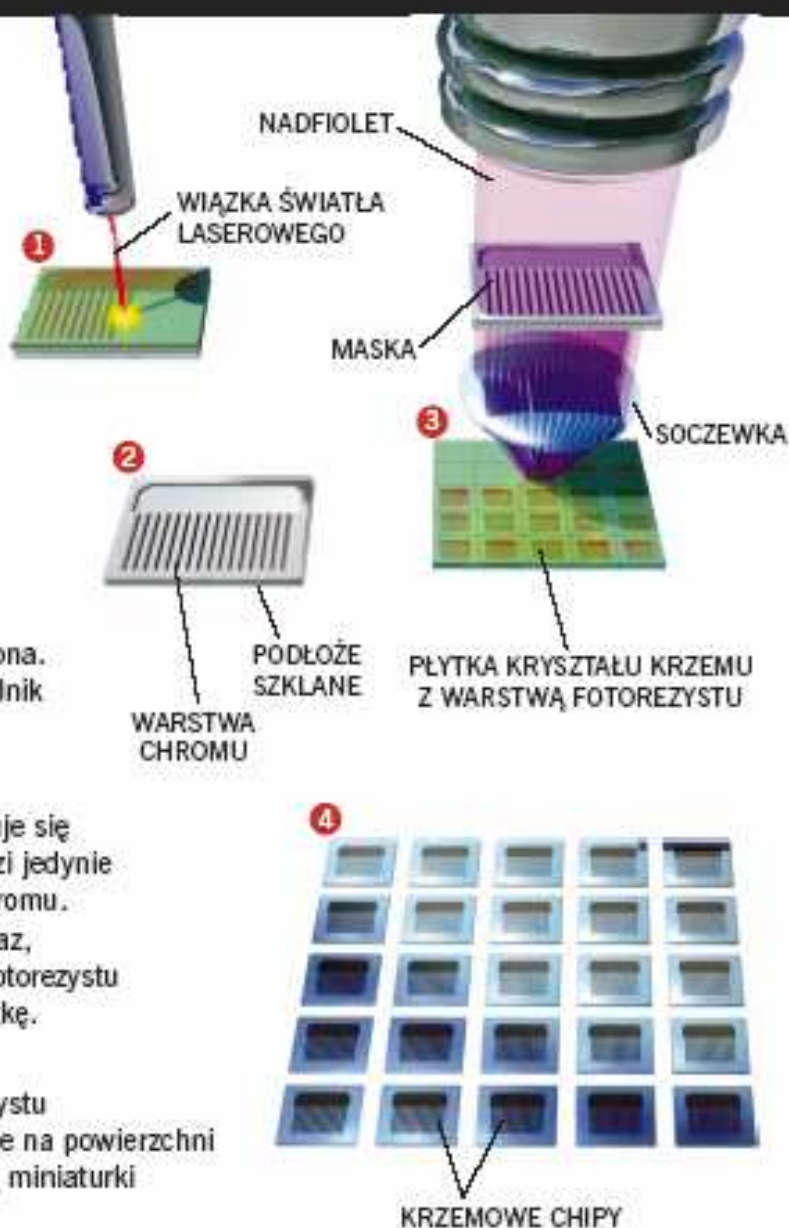
# KONWENCJONALNA FOTOLITOGRAFIA

**1** Wiązka światła laserowego rysuje wzór mikrochipu na warstwie światłoczułego polimeru nałożonego na warstwę chromu na podłożu szklanym. Obszary polimeru naświetlone wiązką światła mogą być następnie selektywnie usunięte.

**2** Odsłonięte (po wytrawieniu polimeru) obszary chromu też zostają wytrawione, a reszta polimeru rozpuszczona. Pozostaje maska – odpowiednik fotograficznego negatywu.

**3** Gdy wiązkę nadfioletu skieruje się na maskę, światło przechodzi jedynie przez otwory w warstwie chromu. Soczewka zmniejsza ich obraz, ogniskując go na warstwie fotorezystu pokrywającej krzemową płytkę.

**4** Naświetlone obszary fotorezystu zostają usunięte, w rezultacie na powierzchni krzemowego chipu powstają miniaturki wyjściowego wzoru.



Rys. 1

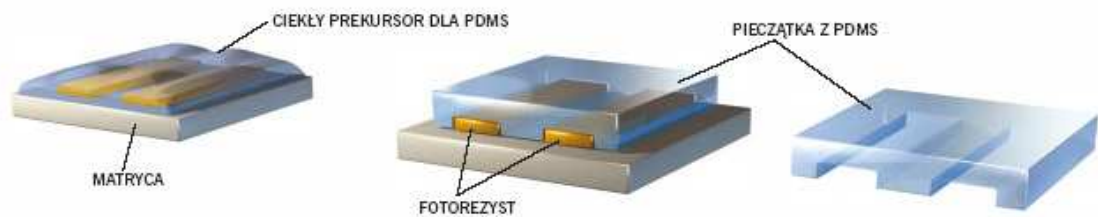
## MIĘKKA FOTOLITOGRAFIA

Druk, odciskanie formy, wytlaczanie i inne procesy mechaniczne wykorzystujące pieczętki z elastycznych polimerów pozwalają na wytwarzanie wzorów

o wymiarach nanometrowych. Metodami tymi można produkować nanelementy stosowane w komunikacji optycznej lub w badaniach biochemicznych.

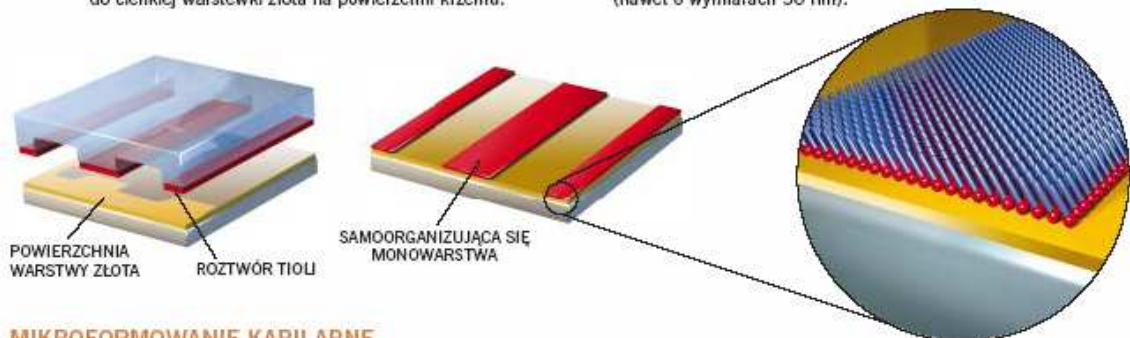
### WYTWARZANIE ELASTYCZNEJ PIECZĄTKI

- 1 Na matrycę zrobioną metodą fotolitografii lub elektronolitografii wylewa się prekursor polidimetylosiloksanu (PDMS).
- 2 Ciecz zastyga w gumowate ciało stałe odwzorowujące pierwotny wzór matrycy.
- 3 Pieczętkę z PDMS odrywa się od matrycy.

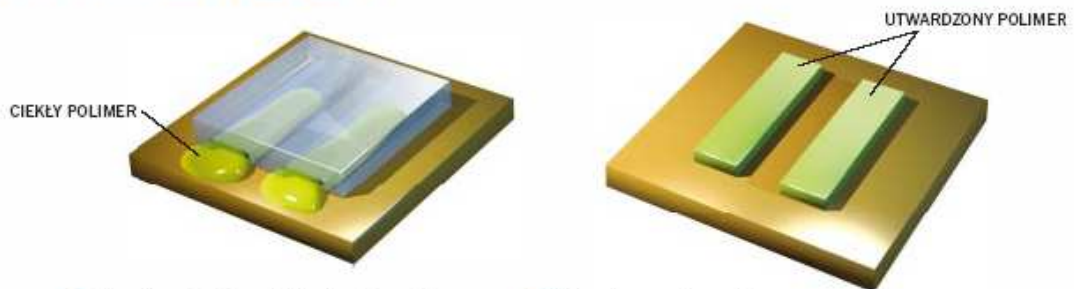


### DRUK MIKROKONTAKTOWY

- 1 Pieczętkę z PDMS zwilża się roztworem związków organicznych zwanych tiolami, a następnie dociska do cienkiej warstwy złota na powierzchni krzemu.
- 2 Tiole tworzą na powierzchni złota samoorganizującą się monowarstwę, która reprodukuje wzór pieczętki (nawet o wymiarach 50 nm).

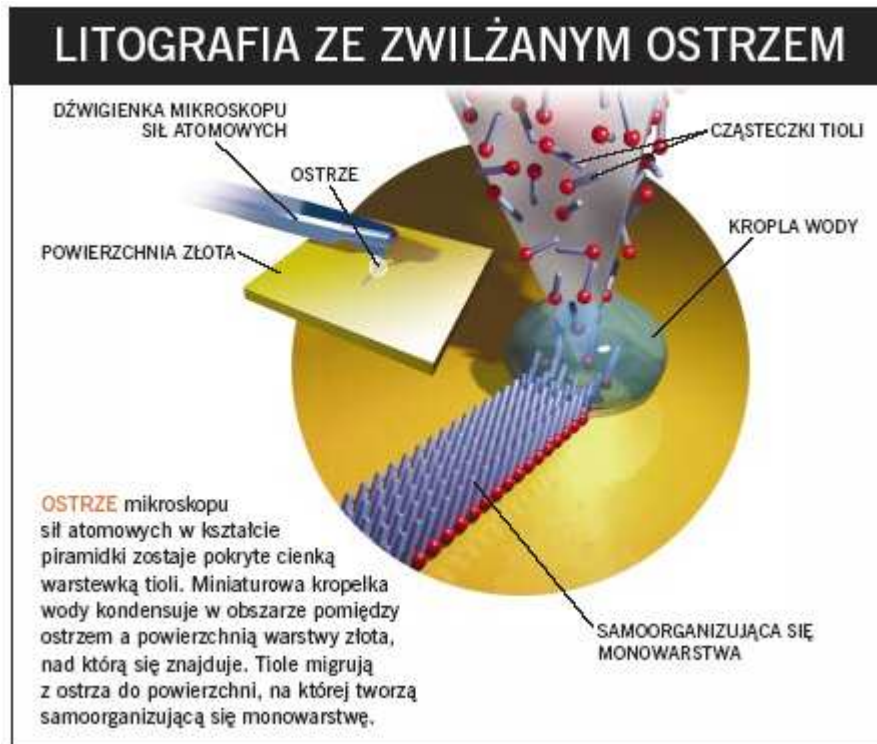


### MIKROFORMOWANIE KAPILARNE



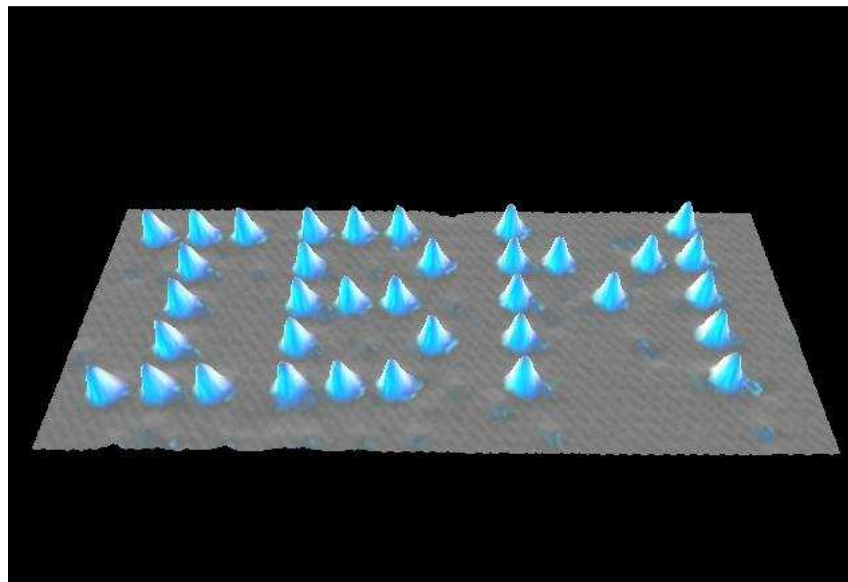
- 1 Pieczętkę z PDMS przykładą się do twardej powierzchni, a ciekły polimer wypełnia zagłębienia pomiędzy pieczętką i powierzchnią.
- 2 Utwardzony polimer odtwarza pierwotny wzór (nawet o wymiarach 10 nm).

Rys. 2

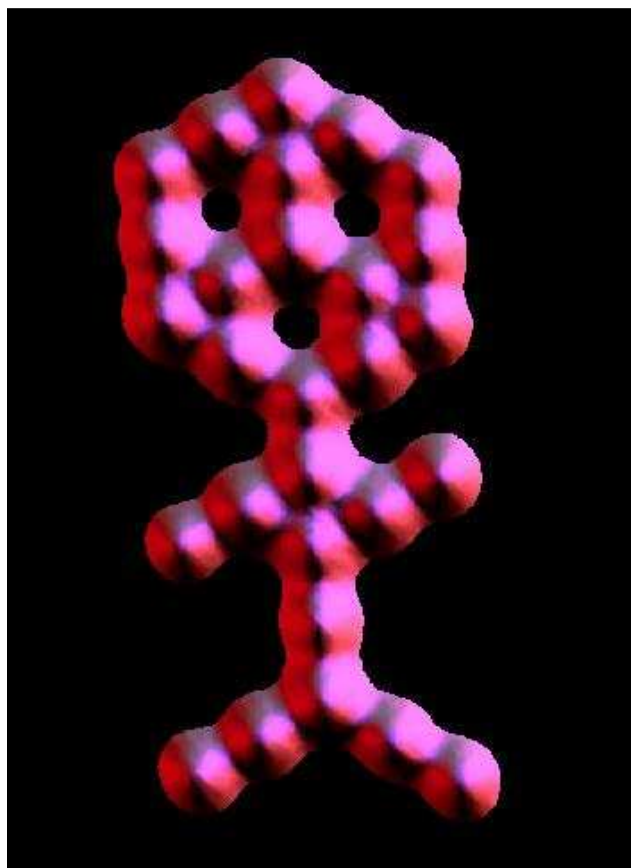


Rys.3

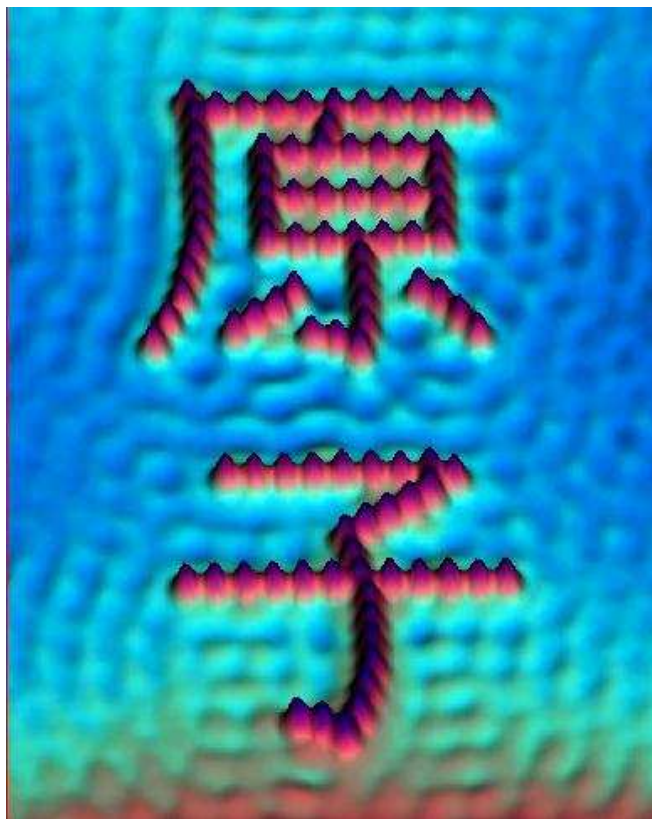
Wzory uzyskane za pomocą STM:



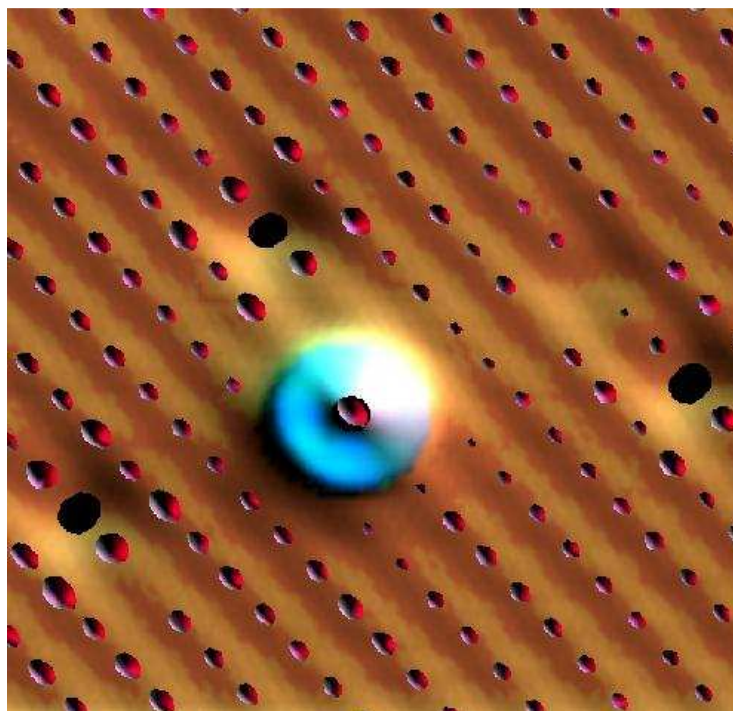
Rys. 4. Atomu ksenonu na powierzchni niklu



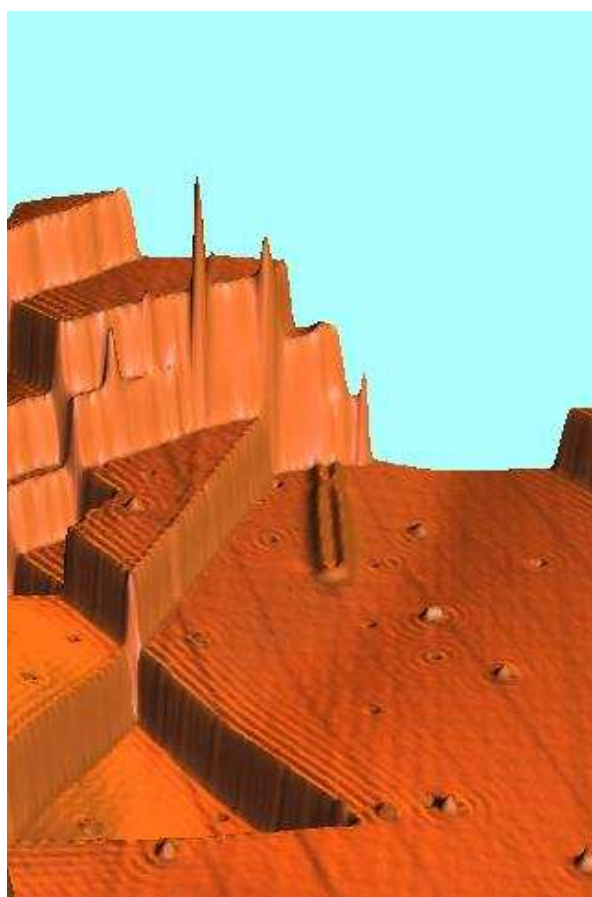
Rys. 5. Jednotlenek węgla na powierzchni platyny



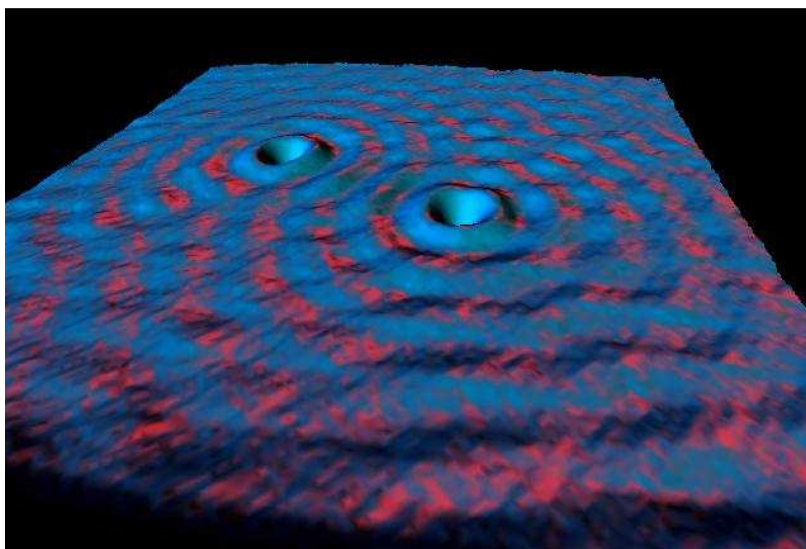
Rys. 6. Atomy żelaza na powierzchni miedzi



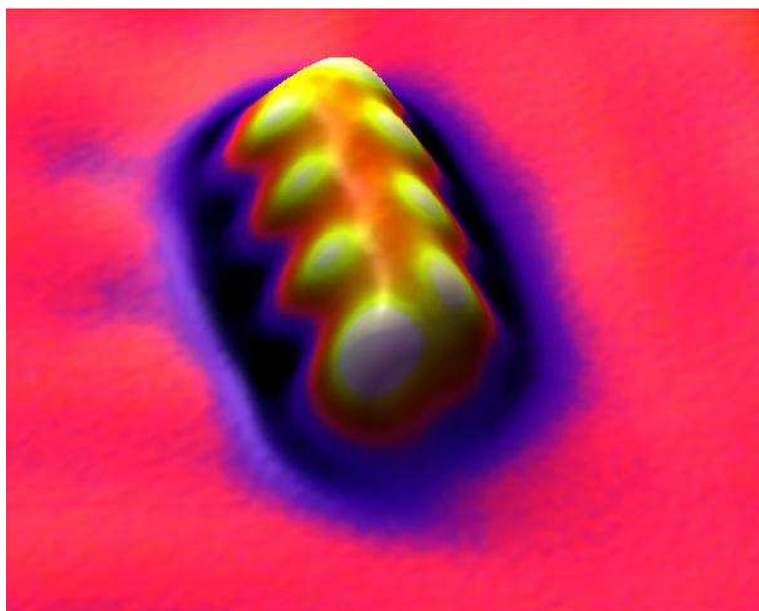
Rys. 7. Ksenon na powierzchni niklu



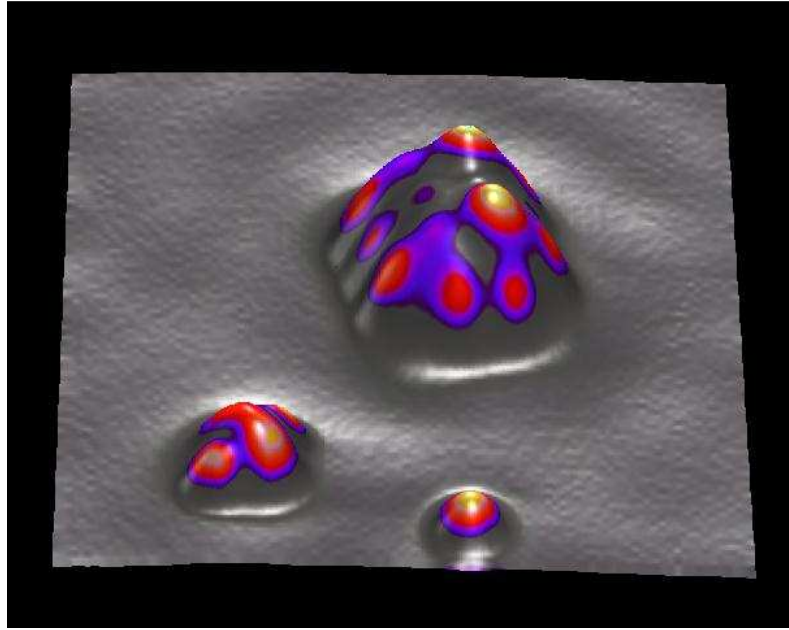
Rys. 8. Perspektywa powierzchni miedzi



Rys. 9. Kręgi na powierzchni miedzi



Rys. 10. Cez i jod na powierzchni miedzi

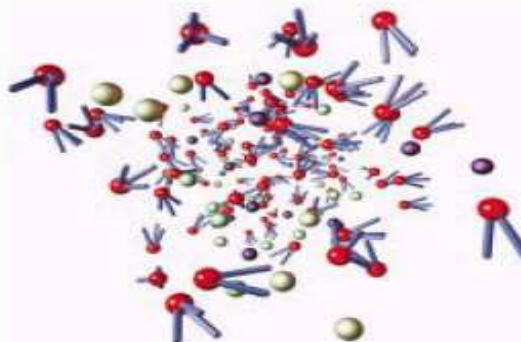


Rys. 11. Sód i jod na powierzchni miedzi

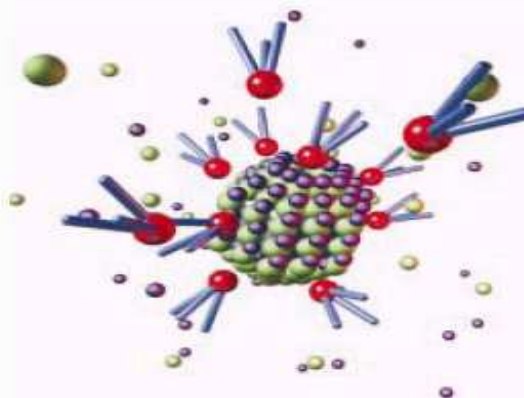
## BUDOWANIE KROPEK KWANTOWYCH

Kryształy nazywane kropkami kwantowymi zawierają zaledwie kilkaset atomów. Emitują one światło o długości fali zależnej od swoich wymiarów. Mogą być bardzo użyteczne w znakowaniu cząsteczek związków organicznych, a więc w monitorowaniu aktywności komórek w organizmach.

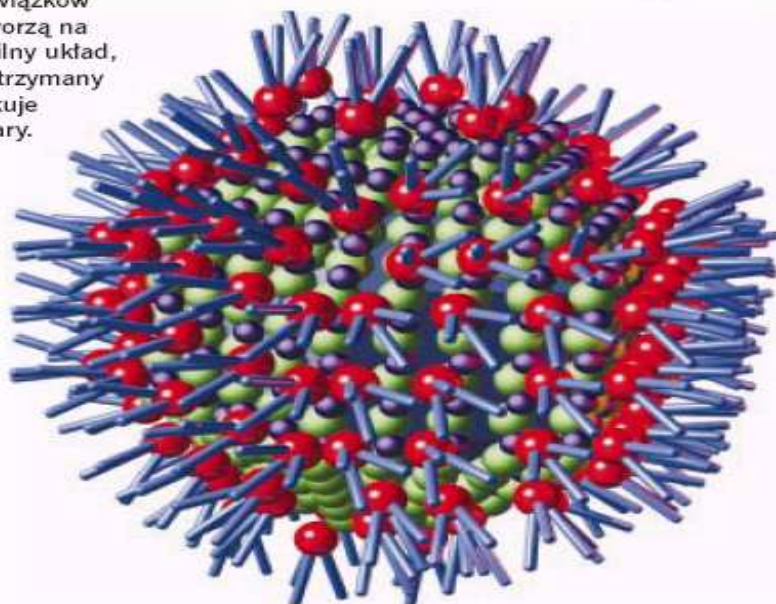
- 1 W reakcji chemicznej łączą się jony kadmu (*fioletowy*), jony selenu (*zielony*) i cząsteczki związków organicznych (*czerwone kulki z niebieskimi ogonkami*).



- 2 Cząsteczki związków organicznych pełnią rolę środka powierzchniowo czynnego, wiążąc się z powierzchnią rosnących kryształków selenku kadmu.



- 3 Gdy cząsteczki związków organicznych utworzą na powierzchni stabilny układ, wzrost zostaje zatrzymany i kryształek uzyskuje optymalne rozmiary.



Rys. 12

## Porównanie metod nanowytwarzania

Naukowcy rozwijają wiele metod budowania struktur o rozmiarach mniejszych od 100 nm. Oto podsumowanie zalet i wad czterech takich metod.

### Fotolitografia

**Zalety:** Przemysł elektroniczny zna już tę metodę, bo jest ona stosowana do wytwarzania układów scalonych. Przez zastosowanie wiązki elektronów, promieniowania rentgenowskiego lub skrajnego nadfioletu producenci mogą ją zmodyfikować w celu wytwarzania nanostruktur.

**Wady:** Konieczne modyfikacje będą kosztowne i technicznie skomplikowane. Wykorzystanie wiązki elektronów jest kosztowne i powolne. Promieniowanie rentgenowskie i skrajny nadfiolet uszkadzają urządzenia stosowane w procesie produkcyjnym.

### Metody wykorzystujące skanującą sondę

**Zalety:** Skaningowy mikroskop tunelowy i mikroskop sił atomowych mogą być użyte do przesuwania pojedynczych nanocząstek po powierzchni i układania ich w żądane wzory. Przyrządy te umożliwiają budowę pierścieni i ścieżek o szerokości jednego atomu.

**Wady:** Metody te są zbyt wolne, aby je wykorzystywać w masowej produkcji. Zastosowania tych mikroskopów będą zapewne ograniczone do budowania wyspecjalizowanych układów.

### Miękka litografia

**Zalety:** Metoda ta pozwala na tanią reprodukcję wzorów wytworzonych przy użyciu elektronolitografii lub innych podobnych technik. Miękka litografia nie wymaga specjalistycznego wyposażenia, można z niej korzystać w zwykłym laboratorium.

**Wady:** Metoda ta niezbyt się nadaje do wytwarzania wielowarstwowych struktur współczesnych układów mikroelektronicznych. Naukowcy próbują pokonać jej ograniczenia.

### Metody „z dołu do góry”

**Zalety:** Przez dobór starannie kontrolowanych reakcji chemicznych naukowcy są w stanie tanio i stosunkowo łatwo łączyć atomy i cząsteczki w bardzo małe struktury o rozmiarach 2–10 nm.

**Wady:** Metody te nie nadają się do budowy układów scalonych, bo nie można za ich pomocą tworzyć z góry zaprojektowanych wzorów o skomplikowanej sieci połączeń.

Rys. 13



## Temat lekcji (nr 8):

### Kwantowe nanoobwody

Typ lekcji: wprowadzająca

Cele dydaktyczne – ogólne: Poznanie przykładów kwantowych nanoobwodów: brama z przerwą, obwód Taylora, kropka kwantowa zbudowana z 2QPC. Poznanie pojęcia przewodnictwa w ujęciu kwantowym oraz blokady Coulomba.

#### Cele operacyjne:

<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
uczeń: wymienia przykłady kwantowych nanoobwodów; definiuje QPC;	uczeń: wyjaśnia przepływ prądu w poszczególnych nanoobwodach; wyjaśnia na czym polega blokada Coulomba;	uczeń: rysuje wykres przewodnictwa w ujęciu kwantowym; rysuje wykres zależności dozwolonej energii w kanale od jego szerokości;	uczeń: projektuje kwantowe nanoobwody; wyszukuje informacje na temat zastosowania kwantowych nanoobwodów;

#### Metody pracy: wykład, pogadanka

Forma organizacyjna: zbiorowa

Środki dydaktyczne: podręcznik, plansze obrazujące przykłady obwodów

#### Przebieg lekcji

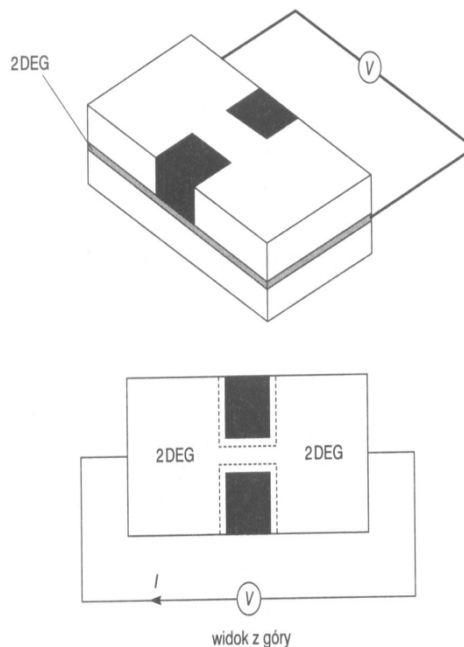
ZADANIA	WARUNKI	<b>CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA</b>	CZYNNOŚCI UCZNI	WYNIK
Bramka z przerwą jako przykład kwantowego nanoobwodu.	Pojęcie półprzewodnika. Przepływ prądu w metalu.	<b>Bramka z przerwą</b>  2DEG zamknięty jest pomiędzy dwoma różnymi warstwami półprzewodnikowymi. Na powierzchni osadzone są metaliczne elektrody, zwane bramką z przerwą ( <i>split-gate</i> ). Przykładając do tych elektrod napięcie, można zubożyć w elektrony obszar gazu znajdujący się pod nimi. Zubożony obszar ma większą		

QPC – jako model przewodnictwa kwantowego;

Budowa bramki z przerwą.

powierzchnię niż elektrody i można go powiększyć przez zwiększenie napięcia na bramce. Dodatkowego napięcia  $V$  używa się do przemieszczania atomów w wąskim kanale utworzonym pomiędzy dwoma obszarami zubożonymi w elektrony.

Powstają w ten sposób dwa obszary 2DEG, połączone przewężeniem nazywanym kwantowym kontaktem punktowym (QPC - *quantum point contact*).



Rys.1. Bramka z przerwą

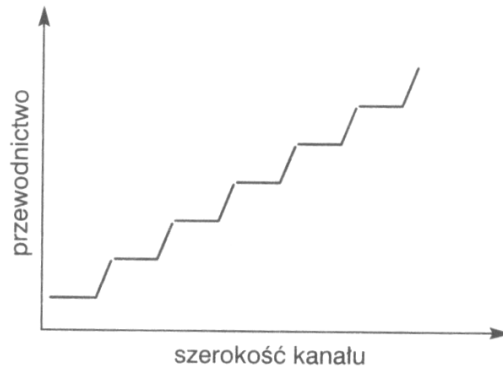
Celem jest zmiana szerokości kanału i pomiar przewodności.

Przewodnictwo nie wzrasta wprost proporcjonalnie do szerokości kanału.

Wykres przewodnictwa w ujęciu kwantowym.

Dozwolone energie dla elektronu w kanale.

Zapoznanie uczniów z przykładem kwantowego nano-obwodu jakim jest bramka z przerwą.

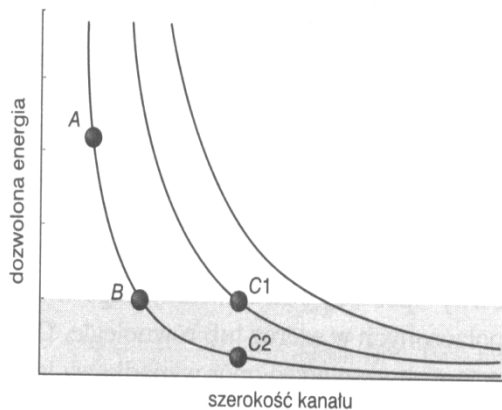


Rys.2. Wykres zależności przewodnictwa od szerokości kanału w ujęciu kwantowym.

Na wykresie widoczne są stopnie, pomiędzy którymi zwiększanie szerokości kanału nie wywiera żadnego wpływu na przewodnictwo kwantowego drutu (w przeciwieństwie do opisu klasycznego, gdzie przewodnictwo jest proporcjonalne do szerokości kanału).

Gdy zmienia się szerokość kanału coraz więcej elektronów ma energię, która pasuje do energii dozwolonych w kanale. W związku z tym prąd, a zatem i przewodnictwo zmienia się **skokowo**.

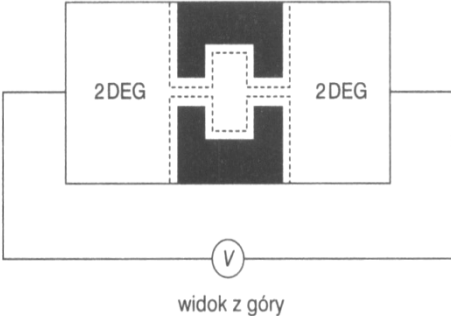
Zasady skwantowanego przewodnictwa:

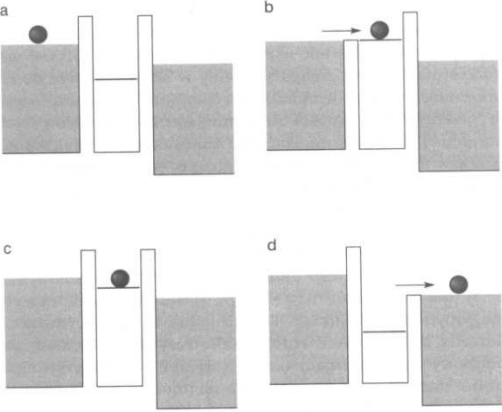


Rys.3. Wykres zależności dozwolonej

Wykres zależności dozwolonej energii w kanale od jego szerokości.

Przepływ prądu pomiędzy 2DEG.

<p>Kropka kwantowa zbudowana z 2 QPC jako przykład kwantowego nanoobwodu.</p>	<p>Budowa bramki z przerwą.</p>	<p><i>energii w kanale od szerokości kanału. Linie ciemne - zmiana dozwolonych energii w kanale w miarę zwiększania jego szerokości. Obszar zacieniowany - energia elektronów w 2DEG. A - kanał jest zbyt wąski i żaden elektron w gazie nie ma odpowiadającej mu energii; B - zwiększa się szerokość kanału, dozwolone energie maleją i są takie same jak energia niektórych elektronów w 2DEG. Przewodnictwo skokowo wzrasta i pozostaje na tym poziomie dopóki następna dozwolona energia nie znajdzie się w obszarze energii, jaką mają elektrony w 2DEG (C2).</i></p> <p><b>Kropka kwantowa</b> (zrobiona z 2 QPC)</p> <p>Dwie bramki z przerwą tworzą pudełkopodobny obszar dla elektronów w 2DEG. Jedynym sposobem, w jaki elektrony mogą dotrzeć do kropki jest tunelowanie kwantowe. Prądu można używać do dodawania lub odejmowania pojedynczych elektronów od kropki.</p>  <p><i>Rys.4. Kropka kwantowa (zrobiona z 2 QPC)</i></p> <p>Kropka kwantowa jest kresem tendencji do miniaturyzacji układów.</p>	<p>Zapoznanie uczniów z przykładem kwantowego nanoobwodu</p>
---	---------------------------------	---	--

<p>Pojęcie blokady Coulomba.</p> <p>Budowa bramki z przerwą. Zjawisko tunelowania.</p> <p>Obwód Taylora jako przykład</p>		<p><b>Tranzystor jednoelektronowy (SET - <i>single electron transistor</i>)</b></p> <p>SET stanowi kres urządzeń kontrolujących prąd (kontrolowanie porcjami - po jednym elektronie).</p> <p>Urządzenie, w którym metoda bramki z przerwą użyta jest do periodycznego podnoszenia i opuszczania barier oddzielających kropkę od 2DEG, umożliwia za każdym razem przejście tylko jednemu elektronowi.</p> <p>Na tunelowanie do kropki więcej niż jednemu elektronowi nie pozwala blokada Coulomba (związana z tym, że pewne energie dla elektronów nie są dozwolone).</p>  <p><i>Rys.5. Elektronowy kołowrót: a) bariery są zbyt wysokie, aby tunelowanie było możliwe; b) jedna bariera zostaje obniżona - elektron tuneluje; c) podnoszenie bariery pierwszej; d) opuszczanie drugiej - tunelowanie elektronu z kropki na zewnątrz - <u>bardzo regularny przepływ prądu.</u></i></p> <p>Blokada Coulomba pojawia się jako przerwa w pasmach dozwolonych energii.</p>	<p>jakim jest kropka kwantowa zbudowana z 2 QPC.</p>
---	--	---	--

kwantowego nanoobwodu.

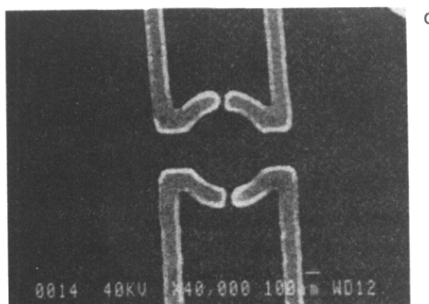
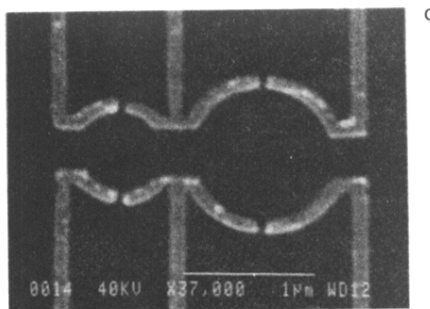
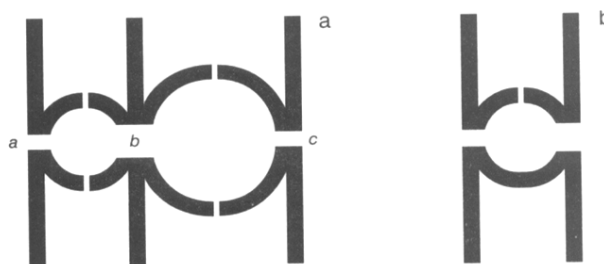
Budowa kropki kwantowej zbudowanej z 2 QPC.

Powtórzenie wiadomości.

Wewnątrz kropki jest zbiór dozwolonych energii. Gdy energia elektronów na wejściu przypada na obszar przerwy – elektrony nie mogą wejść do kropki (tunelować). Kontrolując napięcie przykładane z zewnątrz można dla pewnych wartości przesunąć przerwę.

**Obwód Taylora** (1991r. - R. Taylor, Ottawa)

Sześć bramek powierzchniowych, które można indywidualnie kontrolować wytwarzając zubożone obszary w znajdującym się pod nimi 2DEG.



Rys.6. Obwód Taylora. (a) bramki a, b, c mogą być otwarte tworząc szereg trzech QPC - powstają dwie kropki kwantowe połączone

Zapoznanie uczniów z przykładem kwantowego nanoobwodu jakim jest tranzystor jednoelektronowy.

	<p>Wiadomości zdobyte na lekcji.</p>	<p><i>QPC; można włączać różne fragmenty bariery co pozwala na przepływ prądu przez podwójną lub pojedynczą kropkę (b); (c) i (d) zdjęcia rzeczywistych urządzeń wykonane przy użyciu STM.</i></p> <p>Taylor wprowadził także prostopadłe pole magnetyczne. Jeśli jest to pole dostatecznie silne wówczas elektronom łatwo jest przejść przez QPC, natomiast jeśli jest słabe, to elektrony nie wychodzą z kropki (duży opór).</p> <p>Wymień przykłady kwantowych nanoobwodów i omów w jaki sposób przepływa uczniów nich prąd.</p>		<p>Zapoznanie uczniów z przykładem kwantowego nano-obwodu jakim jest obwód Taylora.</p> <p>Utrwalenie wiadomości.</p>
--	--------------------------------------	---	--	---

**Temat lekcji (nr 9):****Fulereny i nanorurki oraz ich zastosowanie.**

Typ lekcji: wprowadzająca

Cele dydaktyczne – ogólne: Poznanie związków węgla o różnorodnych właściwościach, jakimi są fulereny i nanorurki.

**Cele operacyjne:**

<b>A</b> Zapamiętanie wiadomości	<b>B</b> Zrozumienie wiadomości	<b>C</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych	<b>D</b> Stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych
uczeń: opisuje jak wyglądają i z czego zbudowane są fulereny i nanorurki; wymienia rodzaje nanorurek; definiuje punkt Fermiego;	uczeń: wyjaśnia jak powstają nanorurki; opisuje właściwości nanorurek ze względu na ich budowę;	uczeń: wyjaśnia przewodnictwo, jakie występuje w nanorurkach; omawia zastosowanie nanorurek;	uczeń: wyszukuje dodatkowe informacje na temat nanoprządów z wykorzystaniem nanorurek; analizuje sposoby wytwarzania nanorurek;

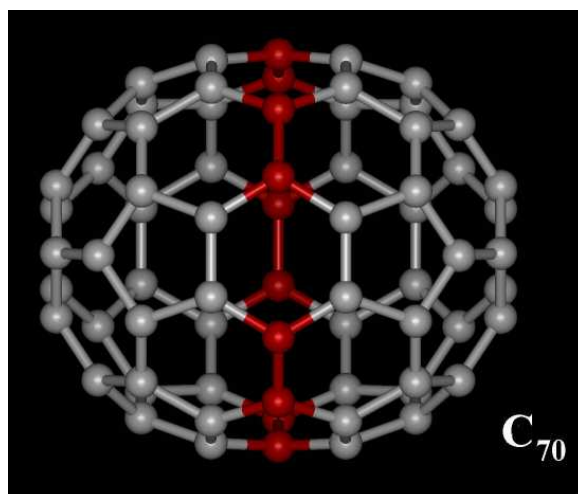
**Metody pracy: wykład, pogadanka**

Forma organizacyjna: zbiorowa

Środki dydaktyczne: podręcznik, plansze z rysunkami

ZADANIA	WARUNKI	<i>CZYNNOŚCI NAUCZYCIELA</i>	CZYNNOŚCI UCZNIA	WYNIK
Charakterytyka nanorurek.	Budowa i własności nanorurek.	Nanorurki to zbudowane z węgla, regularne i symetryczne, niezwykle cienkie i długie makrocząsteczki (pierwsze zauważone w 1991r. były wielowarstwowe, a od 1993 rozpoczęto wytwarzanie jednowarstwowych o średnicy 1nm i długości nawet tysięcy nanometrów). Najważniejsze ich właściwości to bardzo duża odporność na zginanie i		

rozciąganie, stabilność termiczna oraz unikalne własności elektryczne. Strukturą przypominają fulereny, ale ich kształt nie jest sferyczny, tylko cylindryczny. Na ogół końce tego cylindra są zamknięte połówkami fulerenów.



*Rys.1. Najmniejsza nanorurka to C<sub>70</sub>*



*Rys.2. Nanorurka zamknięta z jednej strony*

O trwałości nanorurek decyduje siła wiązania między atomami węgla – ta sama, która odpowiada za twardość diamentu (atomy węgla rozmieszczone w wierzchołkach czworościanu foremego).

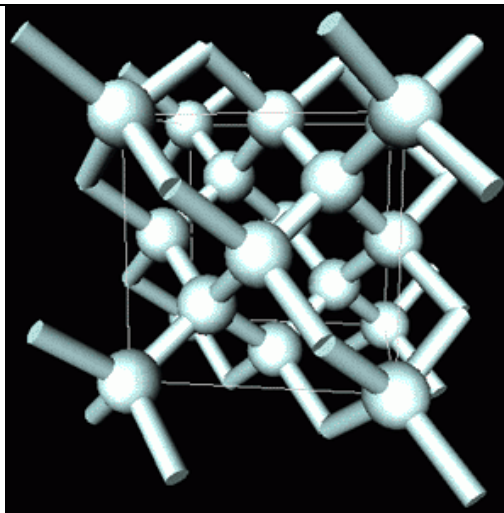
Porównanie budowy nanorurek do

Układ atomów węgla w cząsteczce grafitu i

Poznanie przez uczniów budowy, kształtu i właściwości nanorurek.

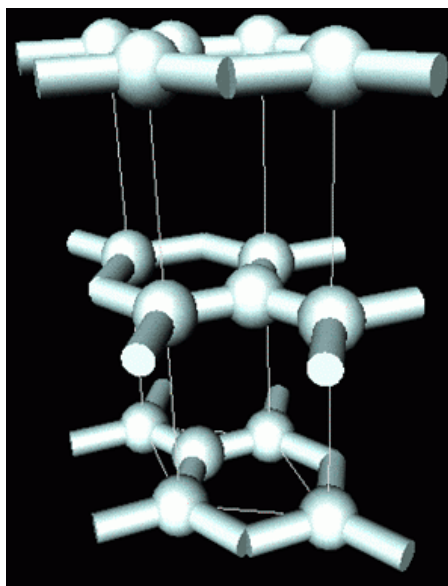
budowy diamentu i grafitu.

diamentu.



*Rys.3. Struktura diamentu*

W nanorurkach atomy węgla tworzą sześciokątne pierścienie – podobnie jak w graficie, który jest półmetalem o szczególnie subtelnej strukturze pasmowej.



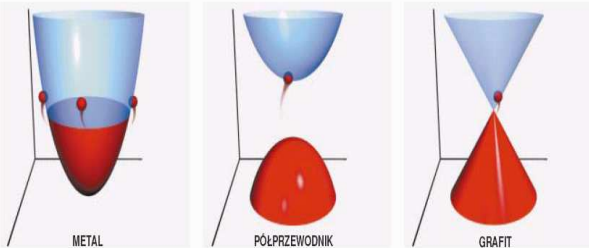
*Rys.4. Struktura grafitu*

Niezależnie od typu, nanorurki mają złożone właściwości elektronowe (ze względu na ich rozmiary obowiązują reguły mechaniki kwantowej). Jedną z tych reguł mówi, że elektrony zachowują się jednocześnie jak fale i cząstki. Jednak w płaskim arkuszu grafitu, po

Opis zachowania się elektronów w

Ograniczenie energii cząstki w zamkniętym obszarze. Istnienie

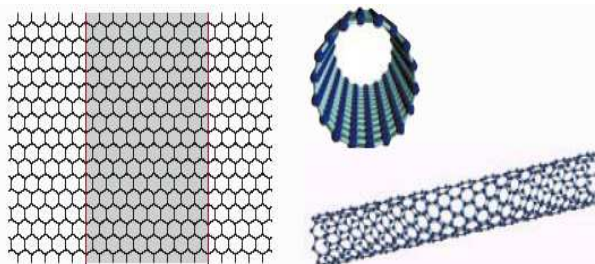
Poznanie różnicy w budowie pomiędzy nanorurkami a diamentem i grafitem.

<p>nanorurkach.</p> <p>Omówienie przewodnictwa w graficie</p>	<p>stanów kwantowych.</p> <p>Pojęcie punktu Fermiego. Przewodnictwo w metalu i półprzewodniku.</p>	<p>zwinieniu w rurkę, dozwolone są tylko fale o określonych długościach (istnienie dozwolonych stanów kwantowych), co zależy od średnicy i skręcenia nanorurki.</p> <p>Istnieje jeden szczególny stan, który jest odpowiedzialny za przewodnictwo w graficie – tzw. <b>punkt Fermiego</b> (1/3 nanorurek posiada zbiór dozwolonych stanów kwantowych zawierających ten punkt – metaliczne nanodruty, a pozostałe 2/3 to półprzewodniki).</p>  <p><i>Rys.5. W metalu odległość pomiędzy pasmem walencyjnym (czerwony) a pasmem przewodnictwa (niebieski) jest bardzo mała (dobrze przewodzą prąd), w półprzewodniku elektrony potrzebują pewnej energii np. światła lub pola elektrycznego, która pozwoli im pokonać przerwę oddzielającą stany przewodnictwa. Grafit słabo przewodzi prąd bez dostarczenia energii z zewnątrz (niewielka liczba elektronów ma bezpośredni dostęp do stanów przewodnictwa).</i></p> <p>Istnieją 2 rodzaje nanorurek:</p> <p><b>PROSTE NANORURKI</b> – budowa: prosty pas wycięty z arkusza grafitu i zwinięty w</p>	<p>Poznanie zachowania się elektronów w nanorurkach w zależności od budowy</p>
---	--	---	--

Przedstawienie rodzajów nanorurek i ich charakterystyki.

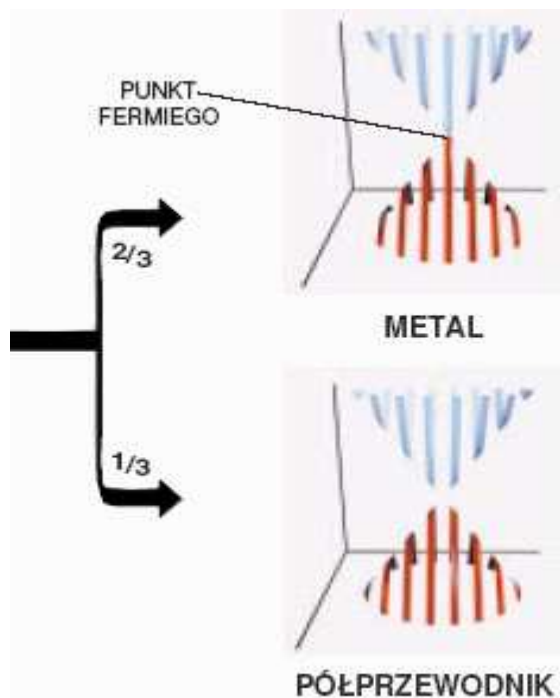
Budowa nanorurek prostych i skręconych oraz ich własności przewodzące.

rułon.



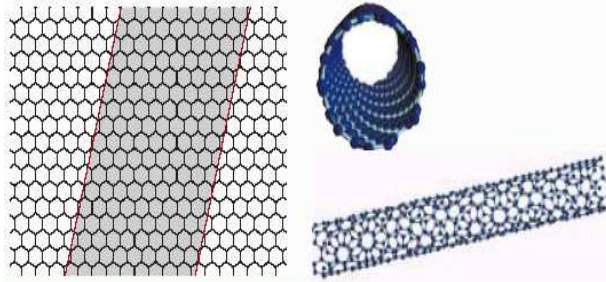
Rys.6. Proste nanorurki

Taka geometria pozwala elektronom zajmować stany tylko w niektórych fragmentach pasm energetycznych i zależnie od średnicy rurki w dozwolonym paśmie może znaleźć się wąska brama (punkt Fermiego) łącząca pasma walencyjne i przewodnictwa – nanorurki wówczas posiadają właściwości podobne do metali (2/3), a pozostałe zachowują się jak półprzewodniki (1/3).



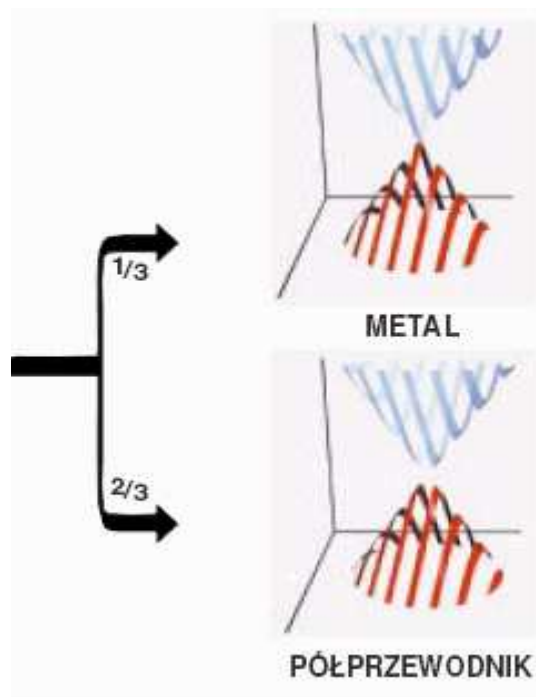
Rys.7. Podział prostych nanorurek

**SKRĘCONE NANORURKI** – budowa:  
wycięte z pasa grafitu na ukos.



*Rys.8. Skręcone nanorurki*


Pasy, na których układają się dozwolone stany energetyczne elektronów, również bieżą na ukos. W  $2/3$  skręconych nanorurek nie obejmują one punktu Fermiego – półprzewodniki.



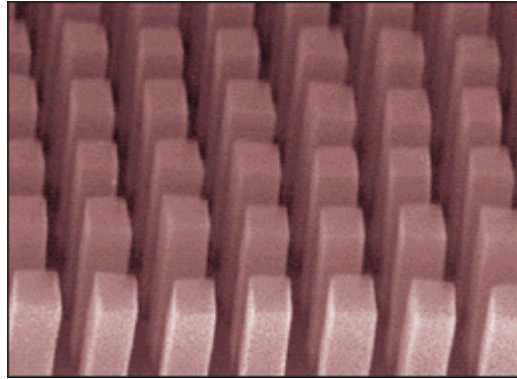
*Rys.9. Podział skręconych nanorurek*

Dla nanorurek o najmniejszej średnicy zbiór dozwolonych stanów energetycznych jest niewielki, a odległości pomiędzy nimi znaczne (podobnie jak w krzemie). Wraz ze wzrostem

Wykorzystanie nanorurek.	Osiągnięcia współczesnej elektroniki.	<p>średnicy rośnie liczba dozwolonych stanów, a odległości pomiędzy nimi maleją aż do zera (jak w metalach). W żadnym innym znanym materiale nie można tak łatwo zmieniać szerokości przerwy energetycznej.</p> <p>Mając do dyspozycji nanorurki o różnych wartościach przerwy energetycznej i rodzajach przewodnictwa można skonstruować różnego rodzaju nanoprzyrządy, np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- złącza pomiędzy nanorurkami metalicznymi i półprzewodzącymi zachowują się jak diody (pozwalają na przepływ prądu tylko w jednym kierunku);</li> <li>- budowane są nanoukłady składające się wyłącznie z przewodów, przełączników i elementów pamięciowych wykonanych całkowicie z nanorurek i innych cząsteczek;</li> <li>- nanorurka ustawiona prostopadle do podłoża i umieszczona w polu elektrycznym zachowuje się jak piorunochron, koncentrując pole elektryczne wokół ostrza i w zawrotnym tempie emituje ze swojego końca elektrony (emisja polowa) – cienkie i oszczędzające energię płaskie wyświetlacze (2005r. - Motorola zaprezentowała pracujący prototyp kolorowego wyświetlacza wykorzystującego węglowe nanorurki, posiadający przekątną 4,7 cala i rozdzielczość 128x96 pikseli);</li> </ul> <p>Sposoby wytwarzania nanorurek:</p>	Poznanie rodzajów nanorurek oraz ich własności przewodzących.
--------------------------	---------------------------------------	---	---

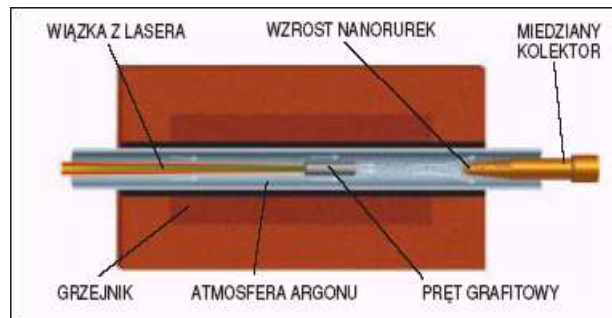
<p><b>Sposoby wytwarzania nanorurek.</b></p>	<p>Wielka iskra.</p>	<p><b>WIELKA ISKRA</b> – dwa pręty grafitowe podłączone do zasilacza zbliża się do siebie na odległość kilku milimetrów i włącza prąd. Pomiędzy prętami pojawi się wyładowanie łukowe związane z przepływem prądu o natężeniu około 100A, które spowoduje, że węgiel odparuje w postaci gorącej plazmy, a jego część skondensuje następnie w postaci nanorurek (1992r. – Thomas Ebbesen i Pulickel M. Ajayan z Laboratorium Badań Podstawowych firmy NEC w Tsukubie w Japonii). Zaletą tej metody jest, że powstałe rurki nie mają defektów, ale ich rozmiary i orientacja są przypadkowe.</p>	<p>Poznanie przykładów wykorzystania nanorurek.</p>
	<p>Gorący gaz.</p>	 <p><i>Rys.10.</i> <b>GORĄCY GAZ (CVD – chemical vapor deposition – osadzanie z par związków chemicznych)</b> - podłoże wkłada się do pieca i ogrzewa do temperatury 600°C, a następnie wpuszcza gaz bogaty w węgiel np. metan. Gaz ulega rozkładowi, uwalniając atomy węgla, które mogą rekombinować w postaci nanorurek (Morinubo Endo z Uniwersytetu Shinshu w Nagano w Japonii). Zaletą jest możliwość produkcji na skalę</p>	

przemysłową, ale otrzymywane rurki są wielowarstwowe i posiadają defekty.



Rys.11. **BŁYSK LASERA** – gorący gaz atomów węgla, z którego tworzą się nanorurki, powstaje dzięki impulsom światła z lasera (Richard Smalley z Rice University). Wytwarzane są nanorurki jednowarstwowe, których średnicę można kontrolować za pomocą temperatury, ale metoda ta wymaga zastosowania potężnych i bardzo drogich laserów.

Błysk lasera.



Rys.12.

W nanorurkach bez defektów ruch elektronów ma charakter „balistyczny” tzn. nie ma tam rozpraszania charakterystycznego dla metali – przyczyny oporu. Kiedy elektrony pokonują długą drogę bez rozpraszania, zachowują swoje stany kwantowe i można obserwować

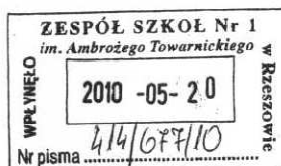
<p><b>Powtórzenie wiadomości.</b></p>	<p>Wiadomości zdobyte na lekcji.</p>	<p>takie zjawiska jak interferencja fal elektronowych. Brak rozpraszania pozwala zrozumieć, dlaczego w nanorurkach jest zachowany spin poruszających się elektronów (spin to jedna z liczb kwantowych opisujących stan elektronu) – wykorzystanie w przyrządach „spintronicznych”, czyli takich, które są czułe na spin elektronu.</p> <p>Co to są nanorurki i fulereny?          Jakie są znane rodzaje nanorurek?          Do czego są wykorzystywane?          W jaki sposób można je wyprodukować?</p>		<p>Poznanie przykładów sposobów wytwarzania nanorurek.</p> <p>Utrwalenie wiadomości.</p>
---------------------------------------	--------------------------------------	--	--	--

## Annex no. 5: Agreement to the cooperation with schools



Rzeszów dn. 17.05.2010

Zakład Dydaktyki Fizyki  
Instytut Fizyki  
Al. Rejtana 16A  
35 – 310 Rzeszów



*Zgodę*  
*[Signature]*

**Dyrektor**  
**Zespołu Szkół NR 1 w Rzeszowie**  
**mgr Tadeusz Bajda**

Zakład Dydaktyki Fizyki w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Rzeszowskiego zwraca się z uprzejmą prośbą o zgodę na podjęcie współpracy z Zespołem Szkół Nr 1 w Rzeszowie w celu przeprowadzenia badań naukowych dotyczących wybranej grupy uczniów. Powyższa współpraca polegać będzie na przeprowadzeniu cyklu lekcji z fizyki przez Panią Małgorzatę Drajczyk w m-cu wrześniu 2010 roku. Będzie ona również obejmować przeprowadzenie testu wstępnego oraz końcowego.

Proszę o pozytywne rozpatrzenie prośby.

Z poważaniem  
mgr Sylwia Budzik

*Sylwia Budzik*

Kierownik Zakładu Dydaktyki Fizyki  
dr hab. prof. UR Czesław Kizowski



Rzeszów dn. 17.05.2010

Zakład Dydaktyki Fizyki  
Instytut Fizyki  
Al. Rejtana 16A  
35 – 310 Rzeszów

**Dyrektor**  
**Zespołu Szkół Zawodowych Nr 1**  
**im. Jana Pawła II w Dębicy**  
**mgr Bożena Zielińska**

Zakład Dydaktyki Fizyki w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Rzeszowskiego zwraca się z uprzejmą prośbą o zgodę na podjęcie współpracy z Zespołem Szkół Zawodowych Nr 1 w Dębicy w celu przeprowadzenia badań naukowych dotyczących wybranej grupy uczniów. Powyższa współpraca polegać będzie na przeprowadzeniu cyklu lekcji z fizyki przez Panią Urszulę Krajewską – Bury w m-cu wrześniu 2010 roku. Będzie ona również obejmować przeprowadzenie testu wstępnego oraz końcowego.

Proszę o pozytywne rozpatrzenie prośby.

Z poważaniem  
mgr Sylwia Budzik

Kierownik Zakładu Dydaktyki Fizyki  
dr hab. prof. UR Czesław Kizowski

*Zysda*

**DYREKTOR**  
*B Zielińska*  
mgr Bożena Zielińska

INSTYTUT FIZYKI UR  
Kierownik Zakładu Dydaktyki Fizyki  
dr hab. prof. UR Czesław Kizowski  
tel. (017) 872-11-39, e-mail: czeki@univ.rzeszow.pl



Rzeszów dn. 17.05.2010

Zakład Dydaktyki Fizyki  
Instytut Fizyki  
Al. Rejtana 16A  
35 – 310 Rzeszów

**Dyrektor**  
**Zespołu Szkół Nr 3 im. Macieja Rataja**  
**w Tomaszowie Lub.**  
**mgr Ireneusz Romaszko**

Zakład Dydaktyki Fizyki w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Rzeszowskiego zwraca się z uprzejmą prośbą o zgodę na podjęcie współpracy z Zespołem Szkół Nr 3 w Tomaszowie Lub. w celu przeprowadzenia badań naukowych dotyczących wybranej grupy uczniów. Powyższa współpraca polegać będzie na przeprowadzeniu cyklu lekcji z fizyki przez Panią Elżbietę Kapuśniak w m-cu wrześniu 2010 roku. Będzie ona również obejmować przeprowadzenie testu wstępnego oraz końcowego.

Proszę o pozytywne rozpatrzenie prośby.

Z poważaniem  
mgr Sylwia Budzik

DYREKTOR  
ZESPOŁU SZKÓŁ Nr 3  
*Ireneusz Romaszko*  
mgr Ireneusz Romaszko

ZESPÓŁ SZKÓŁ Nr 3  
im. Macieja Rataja  
22-600 TOMASZÓW LUBELSKI  
ul. Hallera 5, tel./fax (0-84) 665-05-05  
REGON 000198516 NIP 927-13-78-444  
- 8 -

*Wyrażam zgodę na współpracę z 4/4 instytutem*

## Professional Curriculum vitae

### Sylwia Budzik

1. Data and place of birth: 21 September 1978, Poland;
2. Nationality: Poland;
3. Graduated from Institute of Physics University of Rzeszow (2002),  
Master of Physics (M.Sc.) from Department of Mathematics & Natures
4. Affiliation:  
Institute of Physics,  
University of Rzeszow,  
ul. Rejtana 16a  
35-959 Rzeszow,  
Poland;
5. Position: assistant, Department of Didactics (since 2004);

### *Conferences:*

- 8-12/11/2004: XVI Jesienna Szkoła: PROBLEMY DYDAKTYKI FIZYKI, Borowice  
8 – 9/06/2006: I Rzeszowska Konferencja Młodych Fizyków, Rzeszów  
4 – 8/11/2006: XVII Jesienna Szkoła: PROBLEMY DYDAKTYKI FIZYKI, Borowice  
27 – 28/11/2008: Zájumová činnosť žiakov - stav, problémy, trendy; Prešovská  
Univerzita v Prešove; Fakulta humanitných a prírodných vied; Katedra fyziky

### *Publications:*

- 2005: Nanotechnology - part of school physics - the future or the present. *Moja Fyzyka*, nr 8, Czesław Kizowski, Sylwia Budzik
- 2007: Finding the Curie Temperature for Ferromagnetic Materials, *The Physics Teacher*, January 2007, Volume 45, Issue 1, pp. 31-33, Czesław Kizowski, Sylwia Budzik, Józef Cebulski.
- 2008: *Nanotechnology as a part of Physics teaching at school*, *Concepts of Physics*, Vol. V No. 1 (2008), p. 181, Sylwia Budzik, Czesław Kizowski
- 2009: *Nanotechnologie – Obor školní fyziky*, *Zájumová činnosť žiakov - stav, problémy, trendy*; Projekt KEGA č. 3/4114/06:  
„Rozširovanie edukačných kompetencií pedagogických

pracovníkov“; Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta  
humanitných a prírodných vied, Katedra fyziky, Slovakia  
2009: *Heisenberg's uncertainty principle in high school curriculum*,  
Concepts of Physics, Vol. VI, No. 4 (2009), p. 663, Sylwia  
Budzik, Czesław Kizowski

### ***To date doctorate progress***

The list of exams within Teorie vzdělávání ve fyzice doctorate studies

#### **Obligatory courses:**

Teorie vzdělávání ve fyzice (prof. RNDr. Erika Mechlová, CSc.)

Fyzika (doc. RNDr. Dalibor Dvořák, CSc.)

Metodologie pedagogického výzkumu (prof. RNDr. Erika Mechlová, CSc.)

Anglický jazyk (prof. RNDr. Erika Mechlová)

#### **Obligatory chosen courses:**

Vytváření fyzikálních pojmů u žáků (prof. RNDr. Erika Mechlová, CSc.)

Počítačem podporovaná výuka a experiment ve fyzice (prof. RNDr. Erika Mechlová,  
CSc.)

Projektování vzdělávání fyzice pro eLearning (prof. RNDr. Erika Mechlová, CSc.)

Moderní didaktické technologie (Doc. Nikl)

Úvod do termodynamiky nerovnovážných stavů (doc. RNDr. Dalibor Dvořák, CSc.)

#### **History of 1st year**

Teorie vzdělávání fyzice – exam (11.01.2008)

Metodologie vědeckého výzkumu – exam (11.01.2008)

Fyzika – exam (04.06.2008)

Jazyková zkouška (AJ) – exam (04.06.2008)

Publication: *Nanotechnology as a part of Physics teaching at school*, Concepts of  
Physics, Vol. V No. 1 (2008), p. 181, Sylwia Budzik, Czesław  
Kizowski

#### **History of 2nd year**

Vytváření fyzikálních pojmů u žáků – get a pass (26.05.2009)

Počítačem podporovaná výuka a experiment ve fyzice – get a pass (27.05.2009)

Projektování vzdělávání fyzice pro eLearning – get a pass (27.05.2009)

Moderní didaktické technologie (Hradec Králové) – get a pass (03.09.2009)

Participation in FENIKS project funded by UE.

Publication: *Nanotechnologie – Obor školní fyziky, Zájmová činnost žiakov - stav, problémy, trendy*; Projekt KEGA č. 3/4114/06: „Rozširovanie edukačných kompetencií pedagogických pracovníkov“; Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta humanitných a prírodných vied, Katedra fyziky, Slovakia

### **History of 3rd year**

Úvod do termodynamiky nerovnovážných stavů – exam (23.10.2009)

Participation in FENIKS project funded by UE.

Publication: *Heisenberg's uncertainty principle in high school curriculum*, Concepts of Physics, Vol. VI, No. 4 (2009), p. 663, Sylwia Budzik, Czesław Kizowski

Státní doktorská zkouška – exam (26.08.2010)