Задача – Пробивний електрон

Електрон заряду e та маси m пролітає крізь прямокутну ґратку, утворену паралельними дротами нескінченної довжини, що розташовані на відстані a один від одного, через кожен з яких протікає струм I. В одному напрямку ґратка складається із M провідників, а в іншому (з якого залітає електрон) — із $N \ll M$. Траєкторія електрона у початковий момент часу лежить у площині, перпендикулярній до провідників.

План роботи

- 1. Знайти і об’єднати теорію.
- 2. Розробити модель, написати її.
- 3. Вивчити модель. Провести експерименти.
- 4. Зробити висновки.

Теорія

- Використовуючи закон Біо—Савара—Лапласа, запишіть рівняння Ньютона, що будуть описувати динаміку електрона. Розділивши його на масу, виділіть єдину константу, що характеризує взаємодію електрона із окремим провідником. Знайдіть, як треба відмасштабувати відстань і час, щоб позбутись від цієї константи та від константи a у рівняннях (перетворити їх на одиниці).

Теорія

- Закон Біо-Савара-Лапласа $\vec{B} = \frac{\vec{I} \cdot \vec{r}}{2\pi\varepsilon_0 \cdot |r|^2}$
- Сила Лоренца $\vec{F} = q \cdot \left(\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B}\right)$
- 2й закон Ньютона $m\vec{a} = \vec{F}$

$$m\vec{a} = q \cdot \left(\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B}\right) \Rightarrow \ddot{\vec{r}} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 m} \cdot \frac{\left[\dot{\vec{r}} \cdot \left[\vec{I} \cdot \vec{r}\right]\right]}{|\vec{r}|^2}$$

$$\Downarrow$$

$$m\ddot{\vec{r}} = q \cdot \dot{\vec{r}} \cdot \frac{\vec{I} \cdot \vec{r}}{2\pi\varepsilon_0 |r|^2}$$

Теорія

- Координатна форма:
- $\ddot{r}_x = \frac{qI}{2\pi\varepsilon_0 m} \cdot \frac{r_x \cdot \dot{r}_z}{r_x^2 + r_y^2}$
- $\ddot{r}_y = \frac{qI}{2\pi\varepsilon_0 m} \cdot \frac{r_y \cdot \dot{r}_z}{r_x^2 + r_y^2}$
- $\ddot{r}_z = -\frac{qI}{2\pi\varepsilon_0 m} \cdot \frac{r_y \dot{r}_y + r_x \dot{r}_x}{r_x^2 + r_y^2}$

$$\frac{\ddot{r}_x}{\ddot{r}_y} = \frac{r_x}{r_y} \Big| \dot{r}_z \neq 0$$

$$\ddot{r}_x = \ddot{r}_y = 0 | \dot{r}_z = 0$$

$$\left|\dot{\vec{r}}\right| = C$$

Реалізація

```
isVisual = isVisual_;
pos = new Vect3D(((N-1)*Task4.WIRES_INTERVAL + Task4.LEFT_OFFSET + Task4.RIGHT_OFFSET)*Task4.HORIZONTAL_POS_OFFSET,
    ((M-1)*Task4.WIRES_INTERVAL + Task4.TOP_OFFSET + Task4.BOTTOM_OFFSET)*Task4.VERTICAL_POS_OFFSET, 0);
vel = new Vect3D(Math.cos(angle)*speed, -Math.sin(angle)*speed, 0.0);
```

```
public void calculateAcc ()
{
    ind = new Vect3D(0.0,0.0,0.0);
    Vect3D rad;
    for (int i=0; i<N; i++)
    {
        for (int j=0; j<M; j++)
        {
            rad = pos.add(wires[i][j].multiply(-1.0)).multiply(Task4.PIXEL_LENGTH);
            rad.z = 0;
            ind = ind.add(amp.multiply(rad).multiply(1/(rad.mod()*rad.mod()))).multiply(Task4.ELECTRON_CHARGE/(2.0*Math.PI*Task4.EPSILLON_ZERO));
        }
    }
    acc = vel.multiply(ind).multiply(1.0/Task4.ELECTRON_MASS);
}
public void move ()
{
    pos = pos.add(new Vect3D(vel.x*Task4.dt, vel.y*Task4.dt, vel.z*Task4.dt));
}
public void calculateVel()
{
    vel = Vect3D.add(vel, new Vect3D(acc.x*Task4.dt, acc.y*Task4.dt, acc.z*Task4.dt));
    vel = vel.multiply(this.speed/vel.mod());
}
```

Реалізація(Симуляція)

Java(TM) Platform SE binary (2)	92,5%	1 179,7 МБ	0 Мбіт/с	0 Мбіт/с	0%

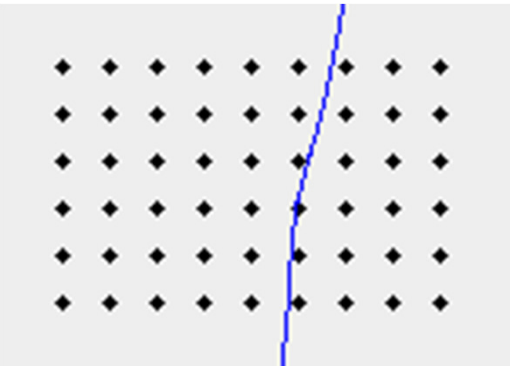
- Результати

N = 15;
M = 5;
MaxSpeed = 3e8

N = 15;
M = 5;
MaxSpeed = 1e8

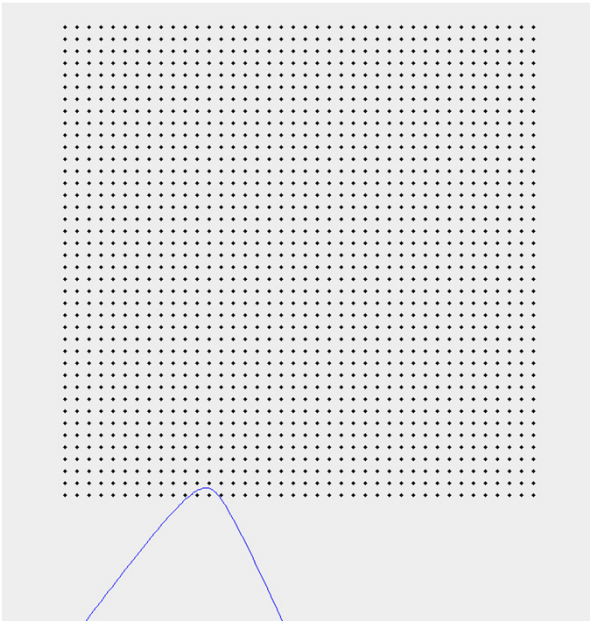
Реалізація

- Результати

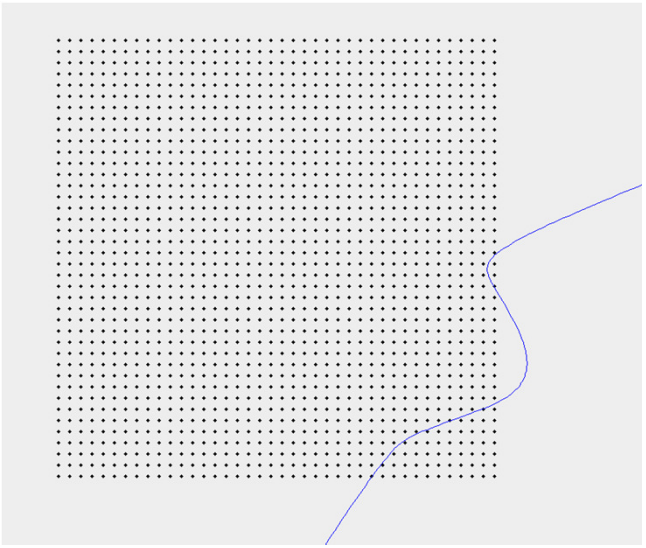


I = 1*10^-17
N = 6
M = 9
Angle = 1,5

V = 1*10^8



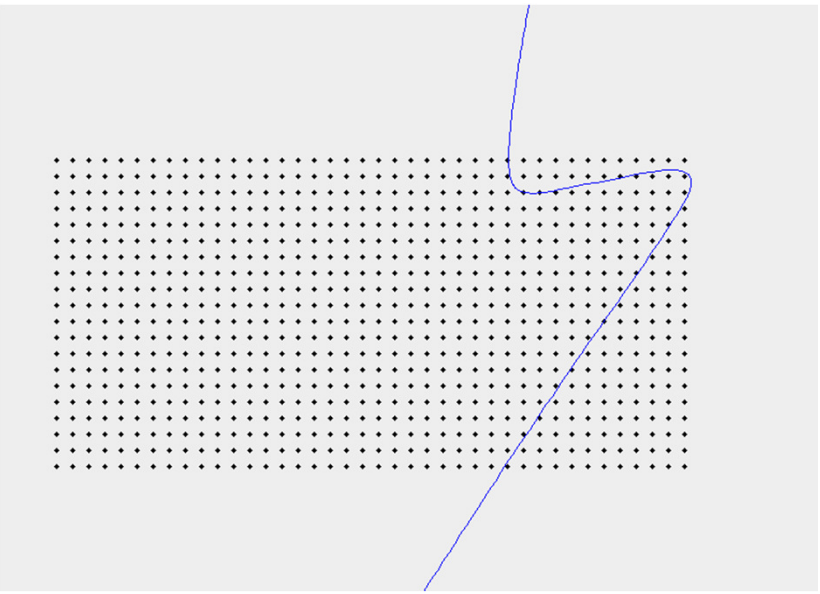
I = 1*10^-17
N = 40
M = 40
Angle = 2



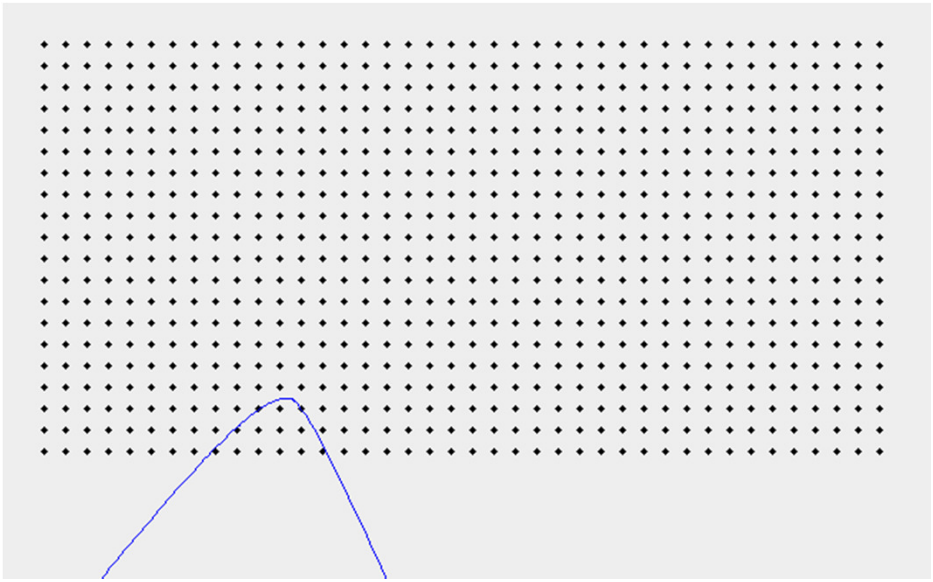
I = 1*10^-17
N = 40
M = 40
Angle = 1

Реалізація

- Результати



I = 1*10^-17
N = 40
M = 20
Angle = 1



I = 1*10^-17
N = 40
M = 20
Angle = 2