

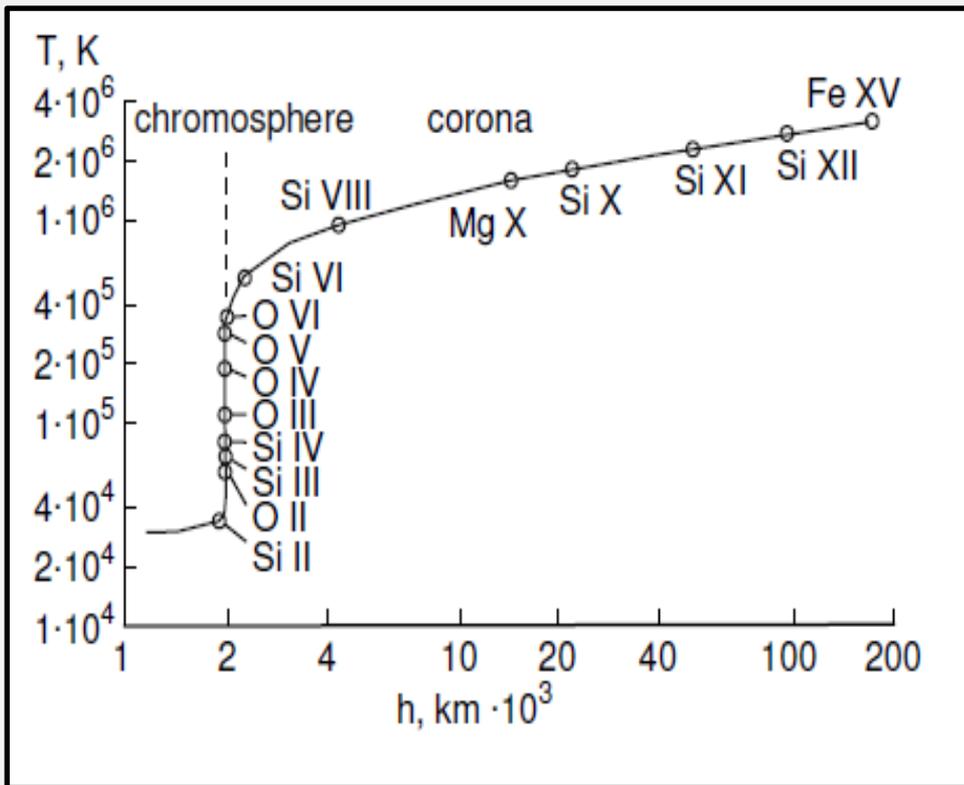
Роль электрического поля и рекомбинации в формировании изображений солнечных вспышек

Малышев М.С. , А.В. Костров

mix.malyshev@yandex.ru

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

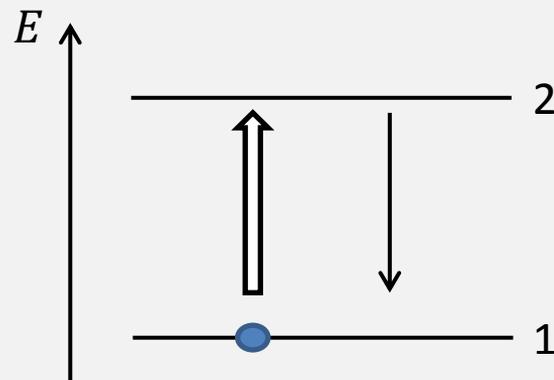
Распределение температуры электронов в переходной области и солнечной короне



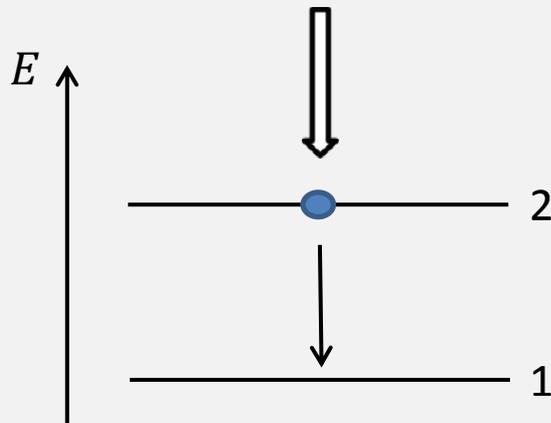
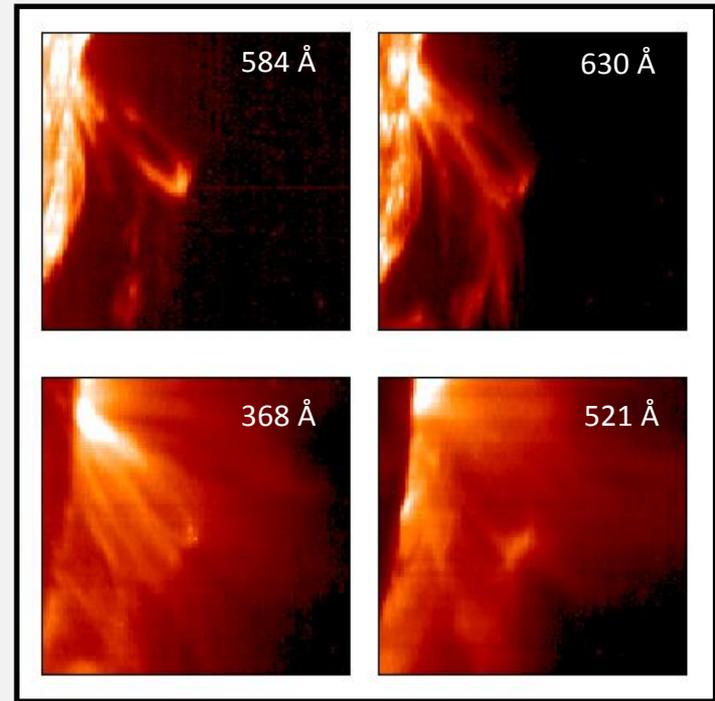
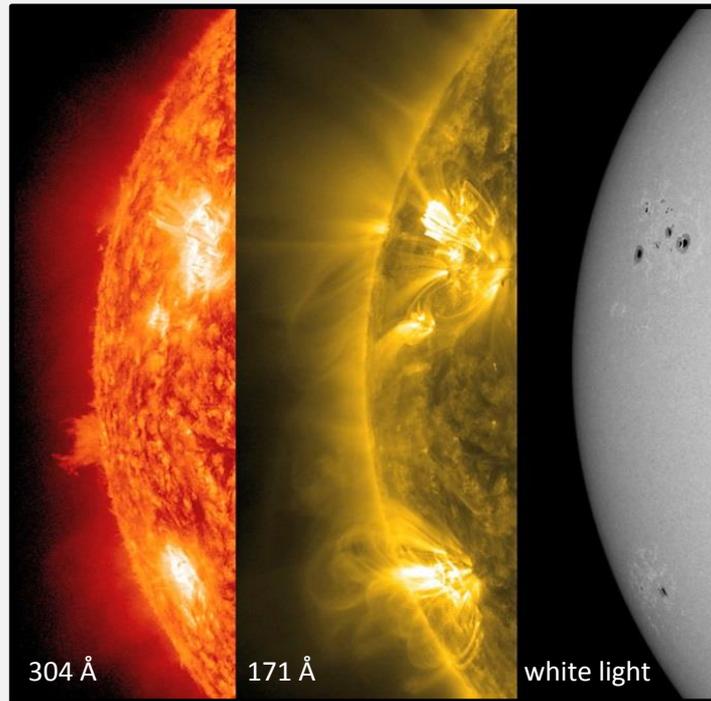
ионизация электронным ударом:



$$\frac{m_e v_e^2}{2} \sim I \text{ — потенциал ионизации}$$



Различные изображения короны Солнца

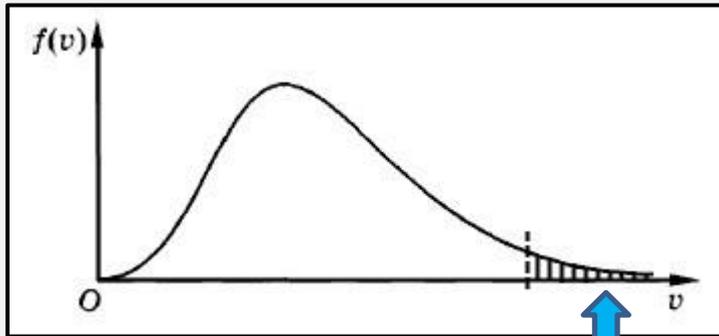


← Рекомбинация иона с электроном

Необходимое условие: $\frac{mv_{\text{отн}}^2}{2} < \frac{Ze^2}{r}$

Электрическое поле вблизи активных областей

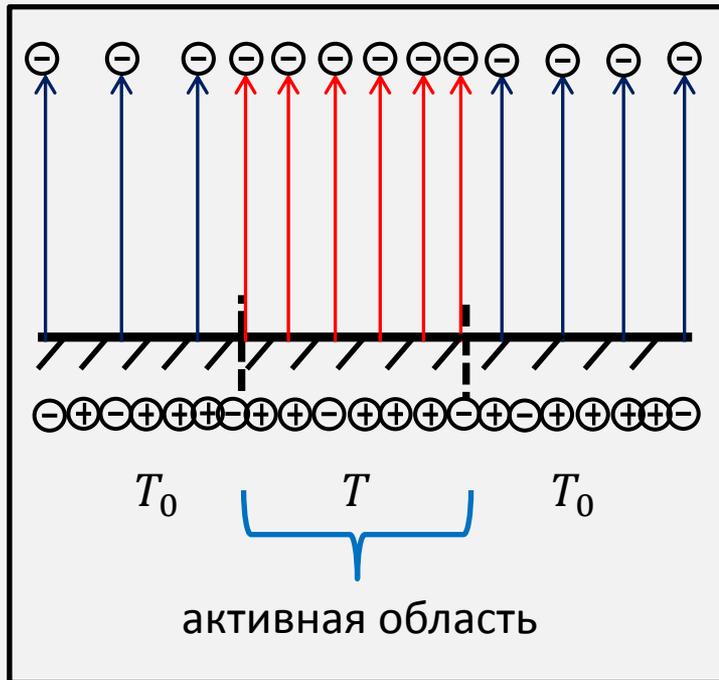
Распределение Максвелла:



Условие удаления электрона на бесконечность:
энергия электрона $W > 1\text{эВ}$

вторая космическая скорость: $v = 617,7 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

высокоэнергетичные электроны



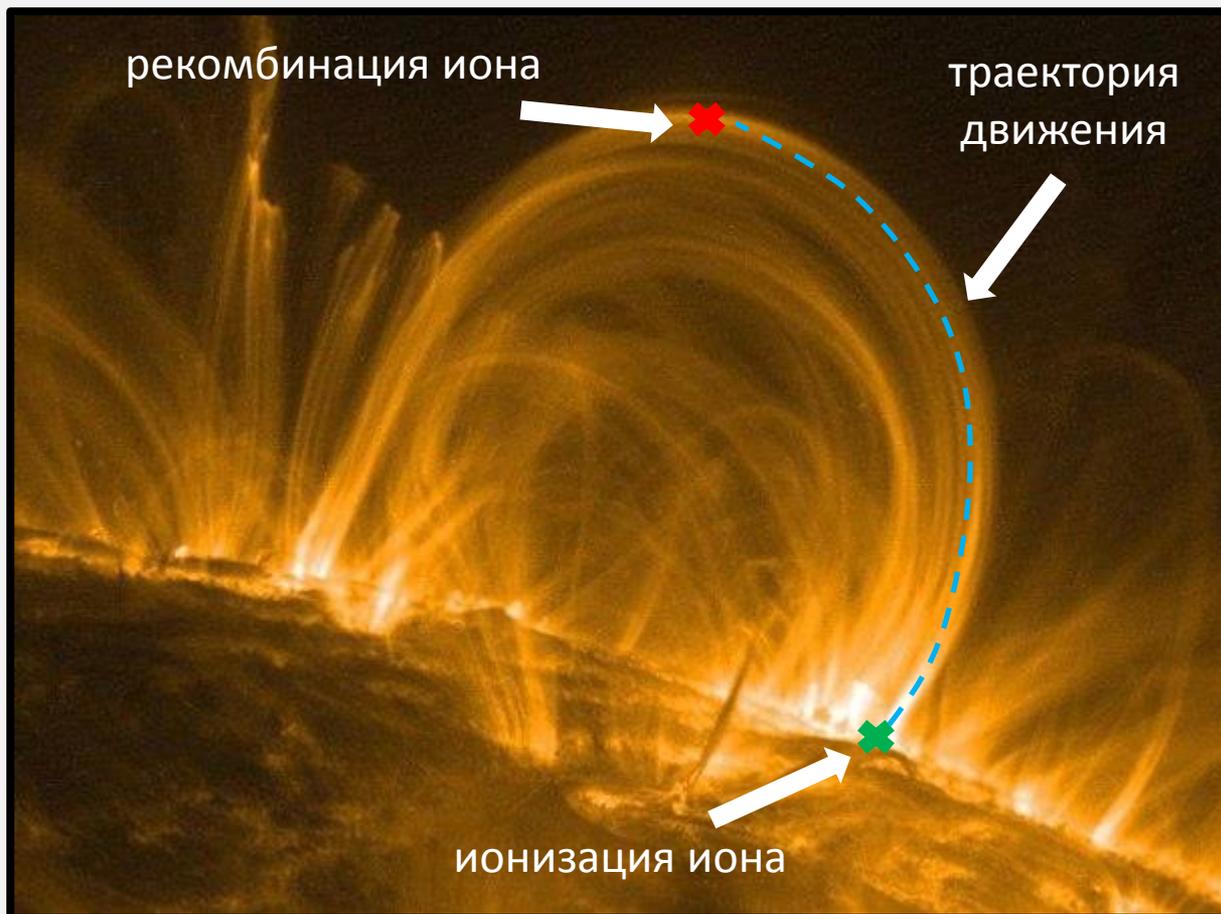
← электроны вылетают с поверхности

← поверхность Солнца

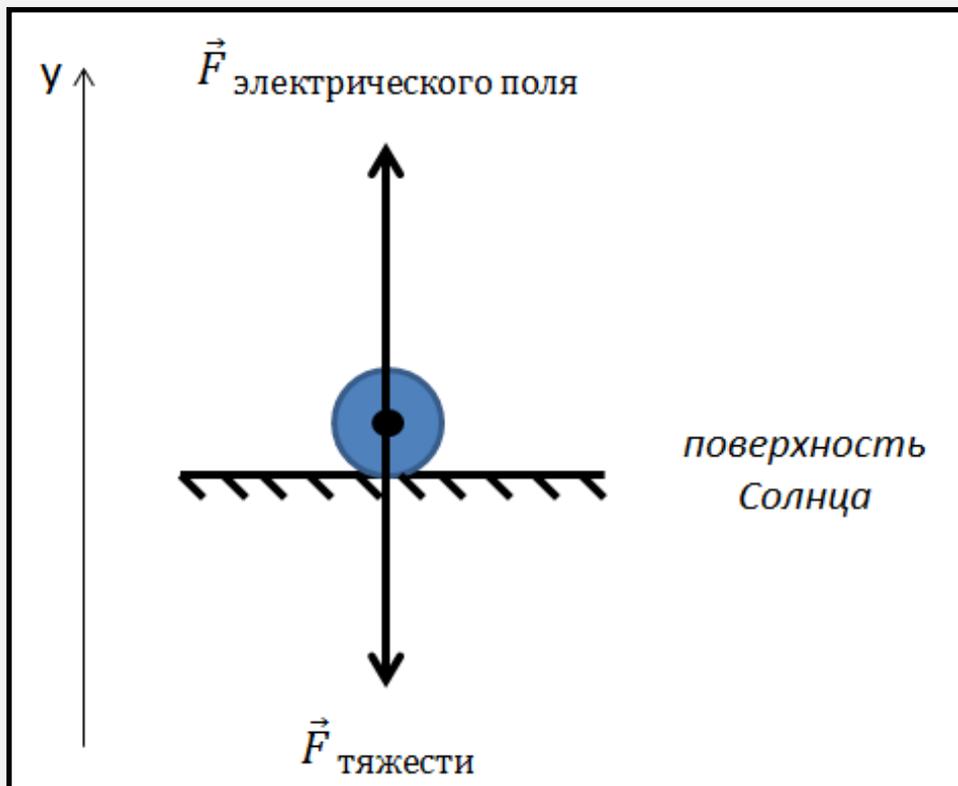
← преимущественно положительные заряды

← температура $T > T_0$

Ионизация и рекомбинация иона



Движение ионов с поверхности Солнца



Уравнение движения ионов:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{e\vec{E}(\vec{r})}{\frac{M}{Z}} + \vec{g}(\vec{r})$$

Начальные условия:

$$\begin{aligned}\vec{v}(t=0) &= 0 \\ y(t=0) &= 0\end{aligned}$$

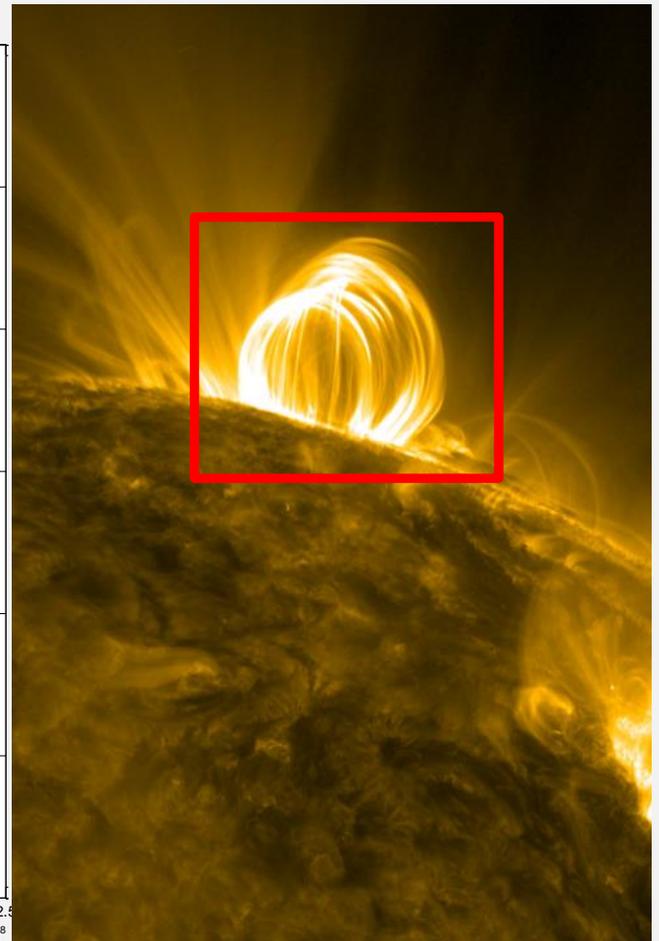
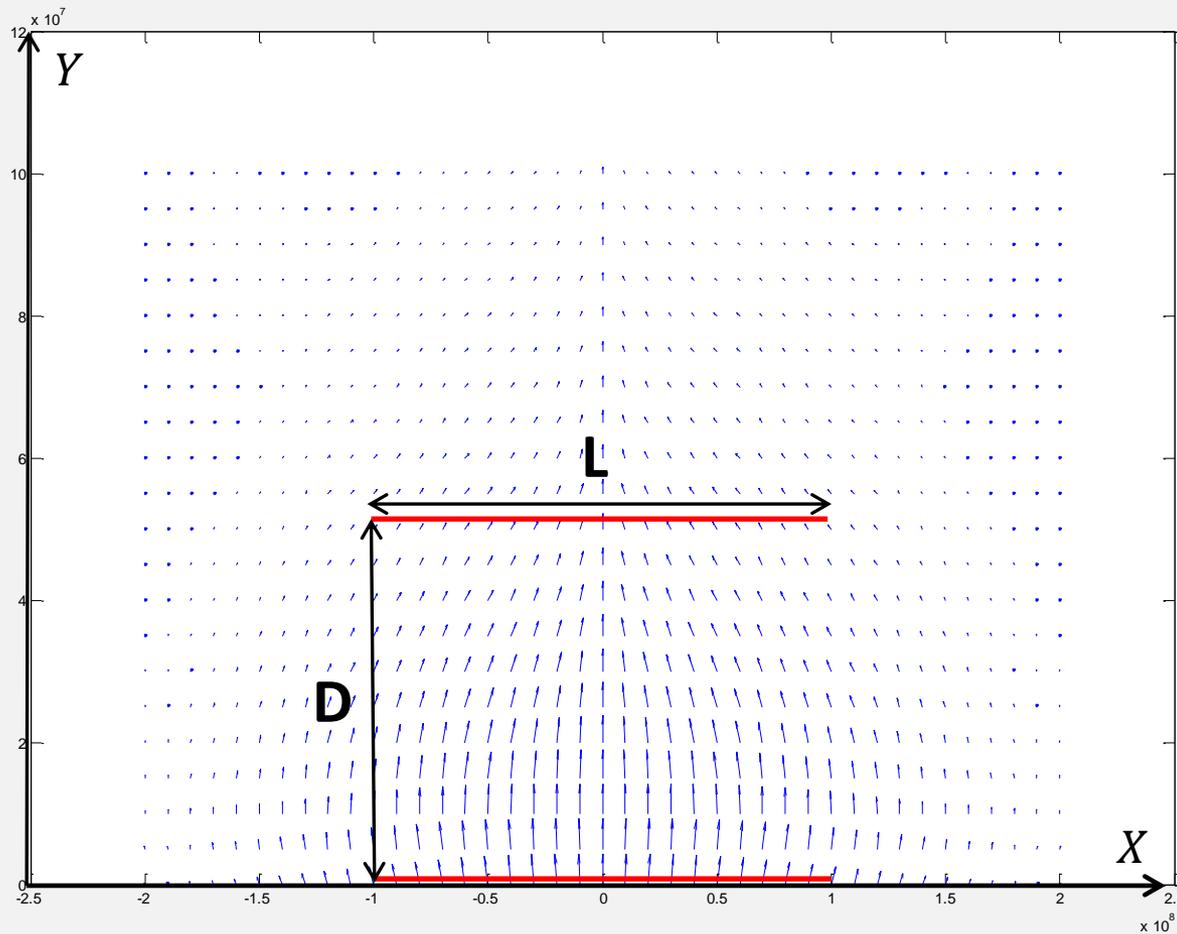
M – масса иона

Z – заряд иона

$\frac{M}{Z}$ – электрическая масса иона

$\vec{E}(\vec{r})$ – неоднородное
электрическое поле

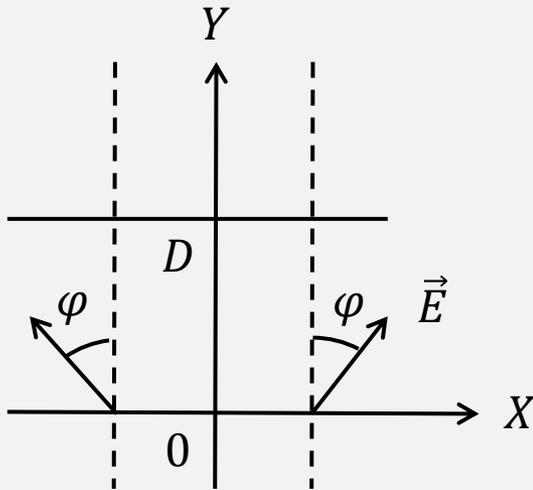
Структура электрического поля



$L = 200$ тыс. км.

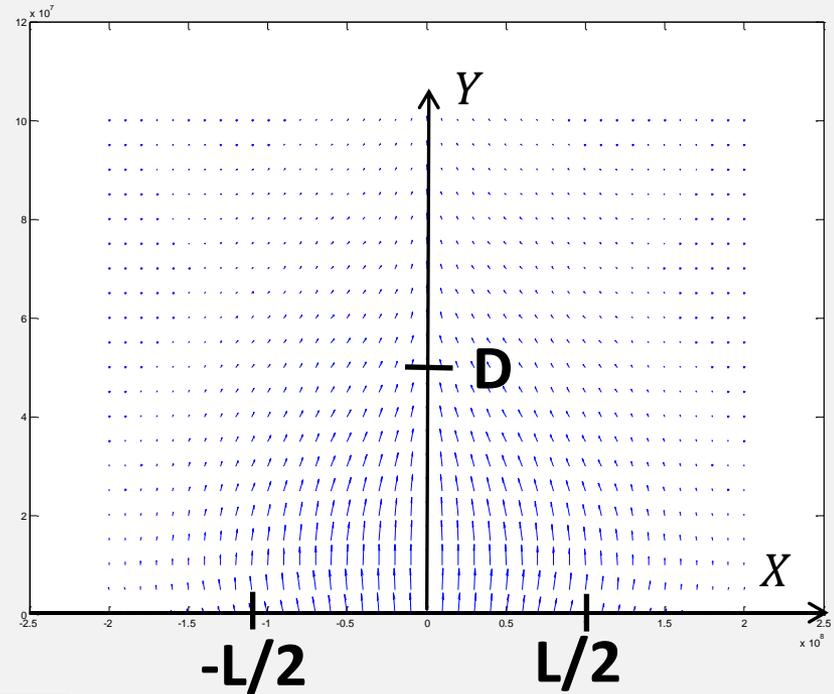
$D = 50$ тыс. км.

Модуль и направление электрического поля



$$E_x = |\vec{E}| \sin \varphi$$

$$E_y = |\vec{E}| \cos \varphi$$



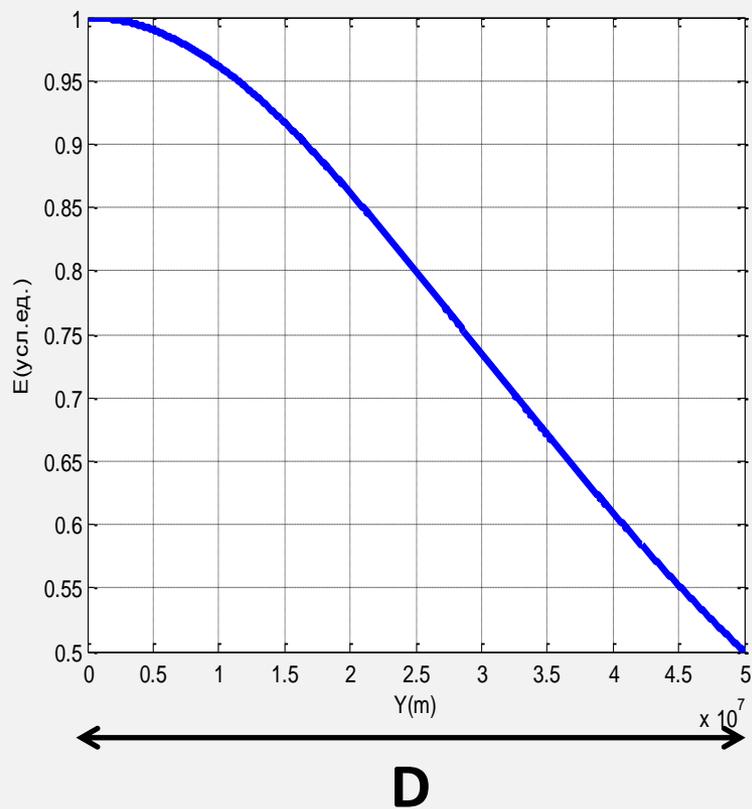
$$|\vec{E}| = E_0 \left(\left(\frac{x}{L} \right)^2 + \alpha \right) * \exp \left(- \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right) * \frac{D^2}{D^2 + y^2}$$

$$\sin \varphi = \text{sign}(x) * \left(\frac{2 - \beta \frac{|x|}{L}}{1 + \gamma \frac{y^2}{D^2} * \left(1 - \beta \frac{|x|}{L} \right)} - 1 \right)$$

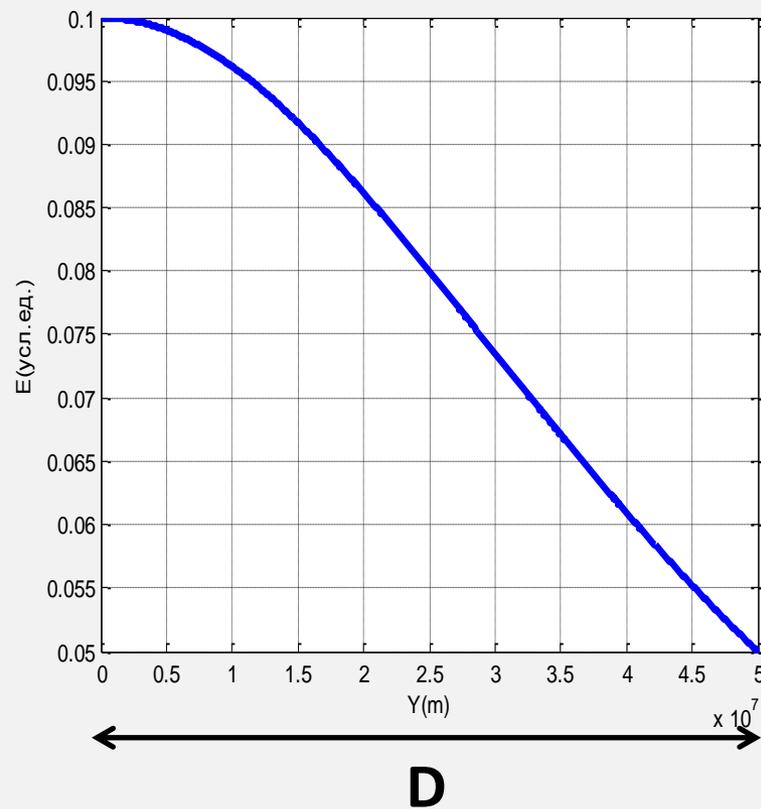
$E_0, \alpha, \beta, \gamma$ – варьируемые
параметры

Зависимость модуля электрического поля от координаты Y

$\alpha = 1$

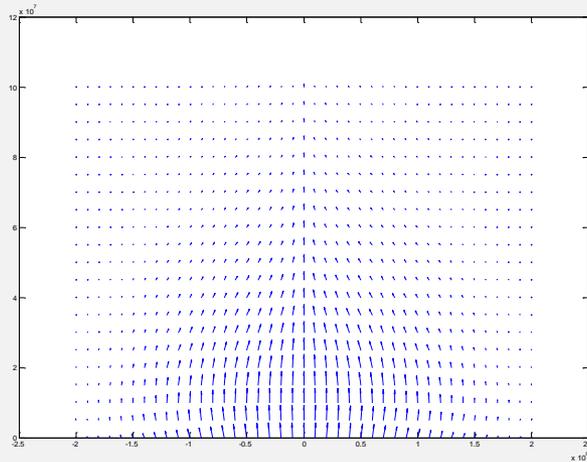


$\alpha = 0,1$

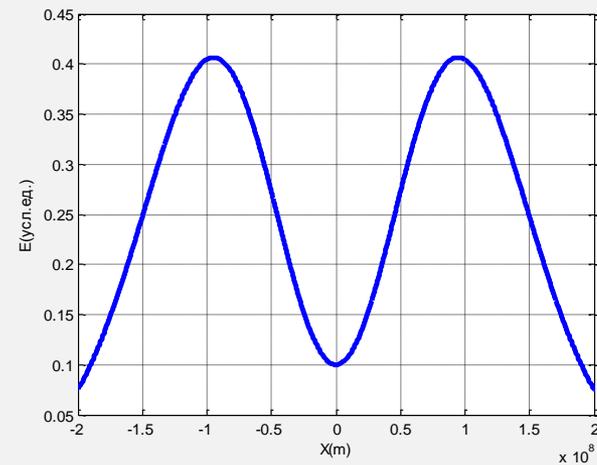
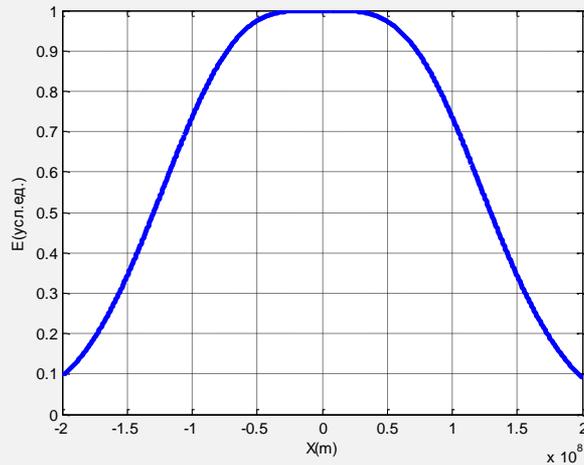
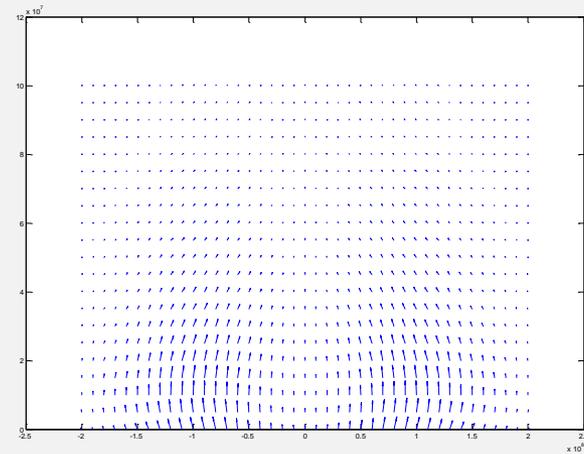


Зависимость модуля электрического поля от координаты X

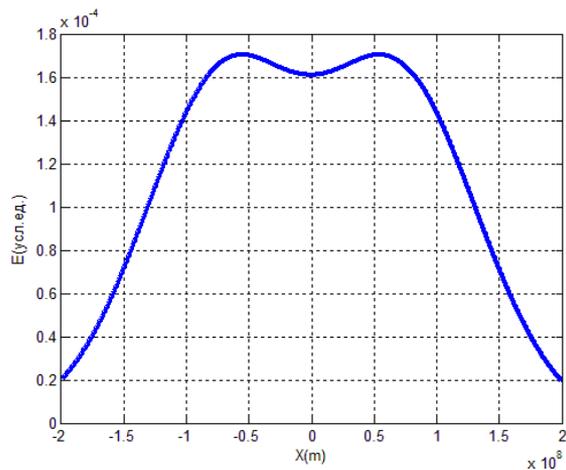
$\alpha = 1$



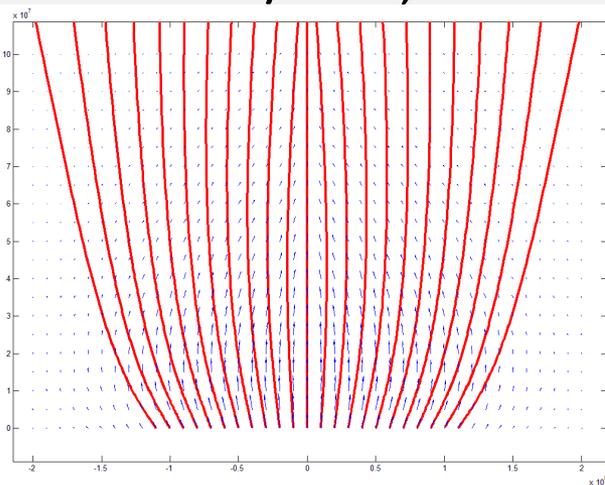
$\alpha = 0,1$



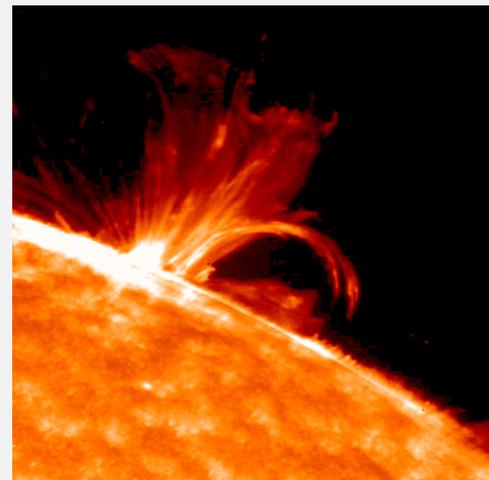
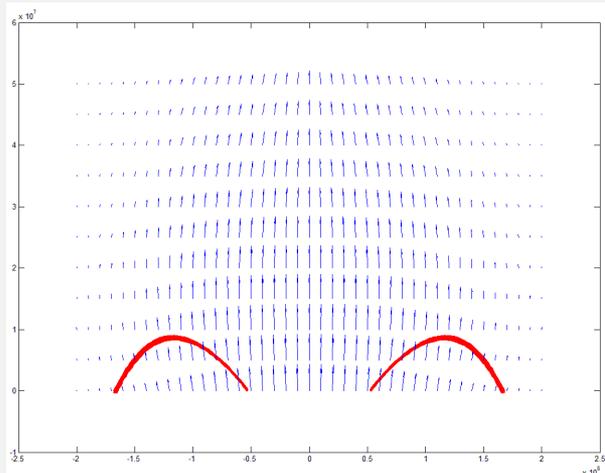
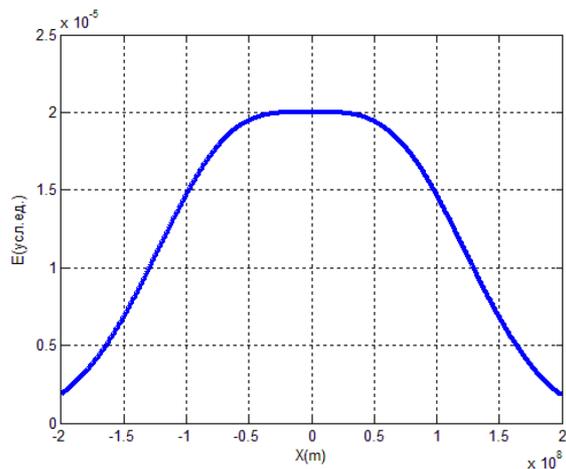
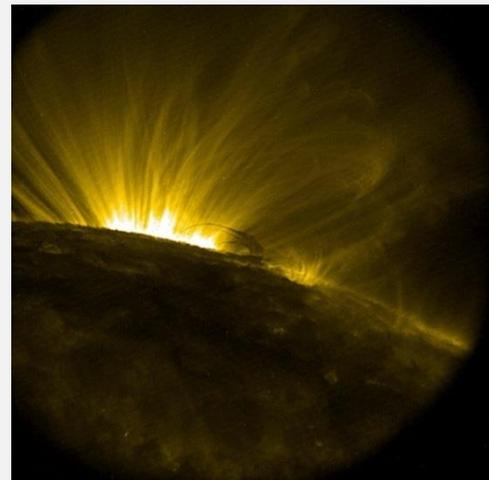
Зависимость модуля поля от X



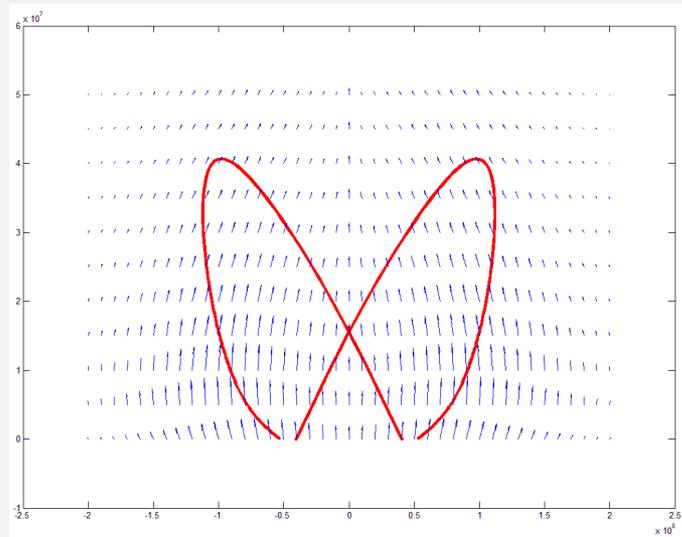
Траектории движения ионов с $M/Z = 5,6$



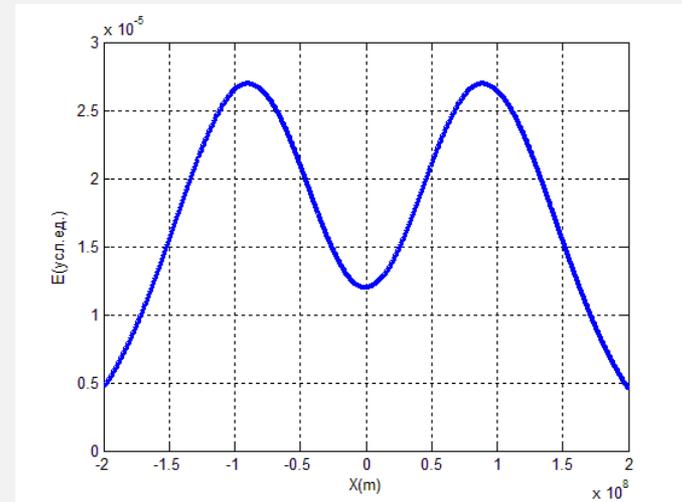
Фотографии вспышек



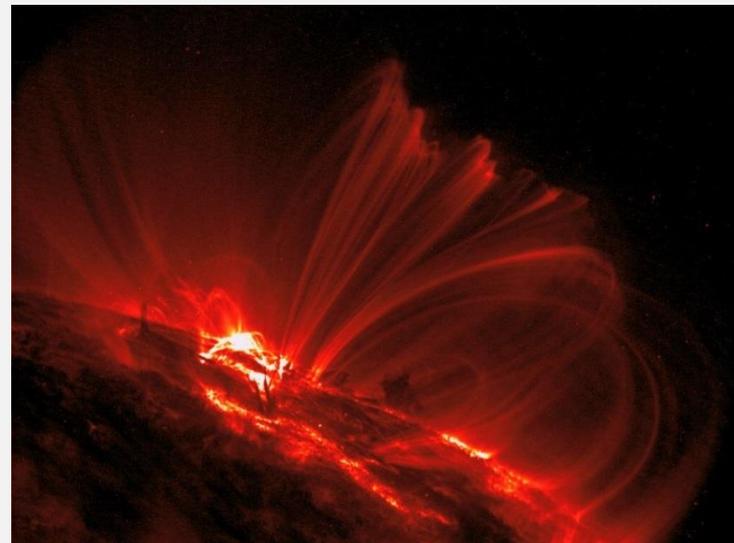
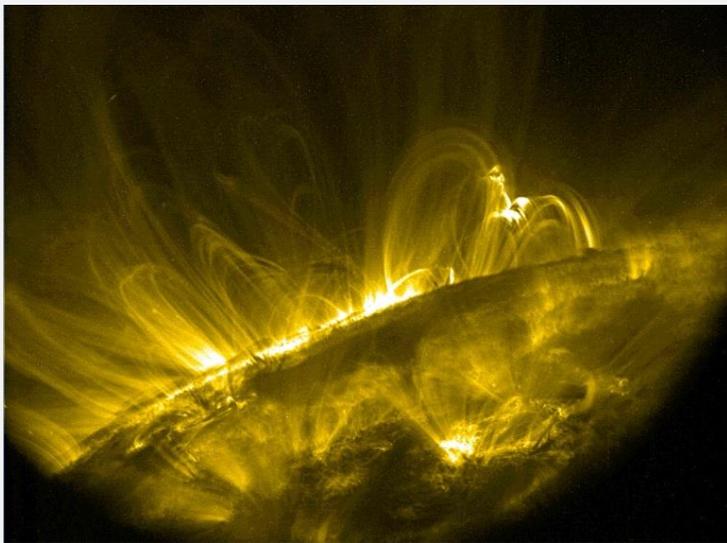
Траектория движения ионов с $M/Z = 5,6$



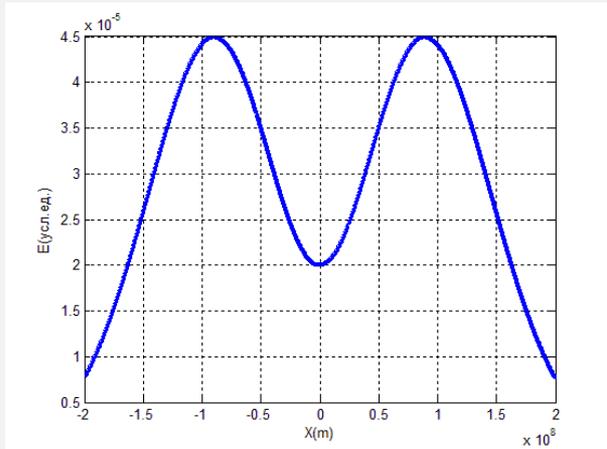
Зависимость модуля поля от X



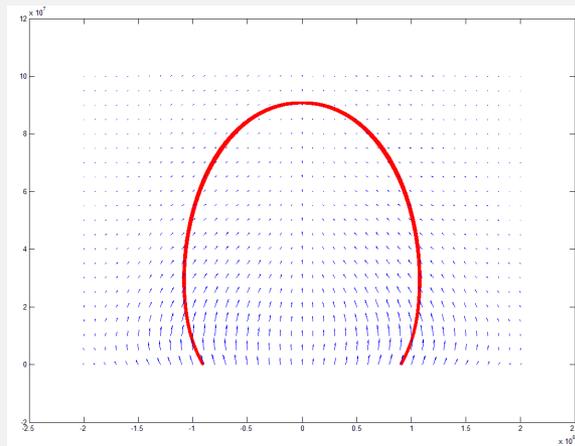
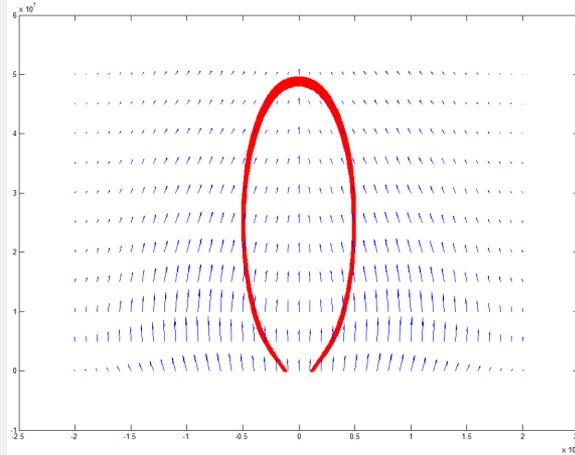
Фотографии вспышек



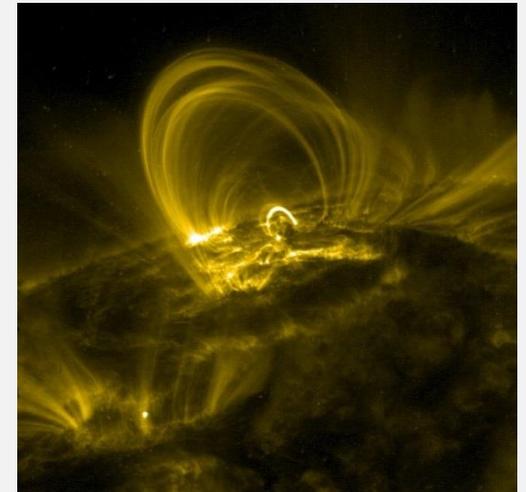
Зависимость модуля поля от X



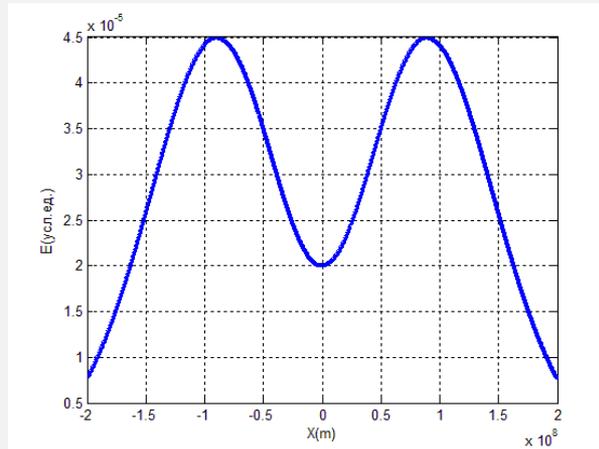
Траектории движения ионов с $M/Z = 5,6$



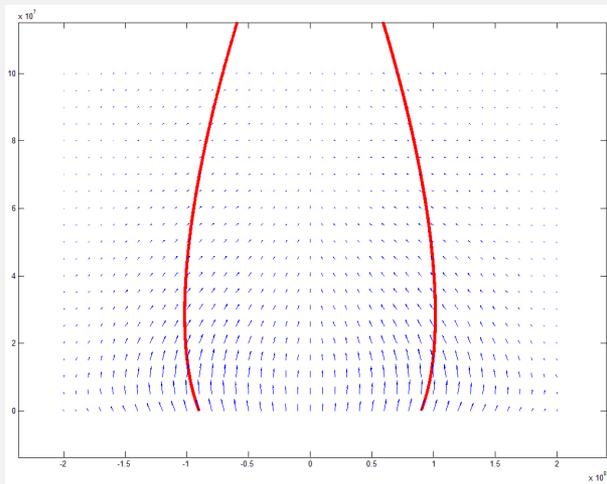
Фотографии вспышек



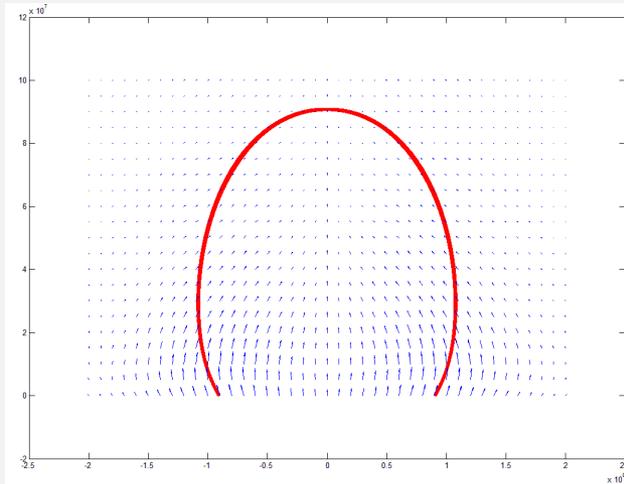
Зависимость модуля поля от X



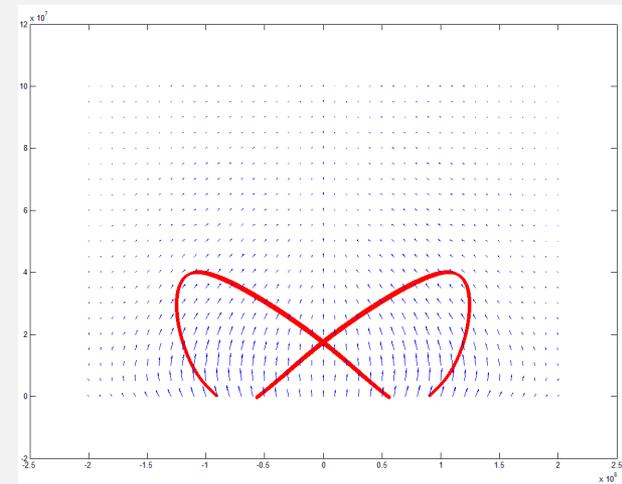
Траектории движения ионов



$$\frac{M}{Z} = 2$$

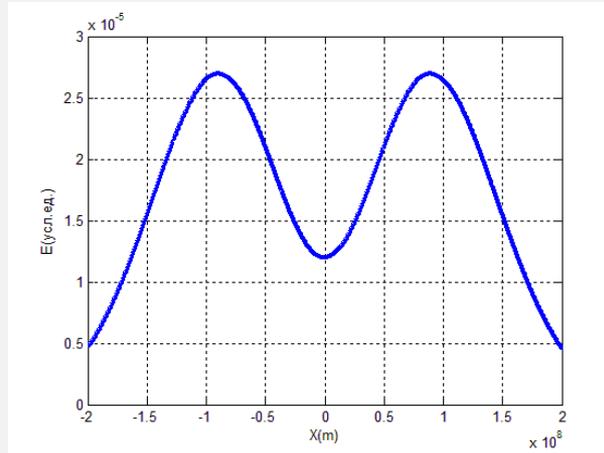


$$\frac{M}{Z} = 5,6$$

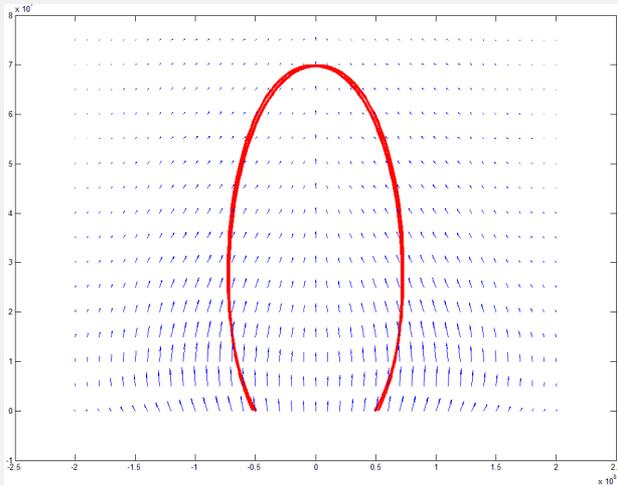


$$\frac{M}{Z} = 9$$

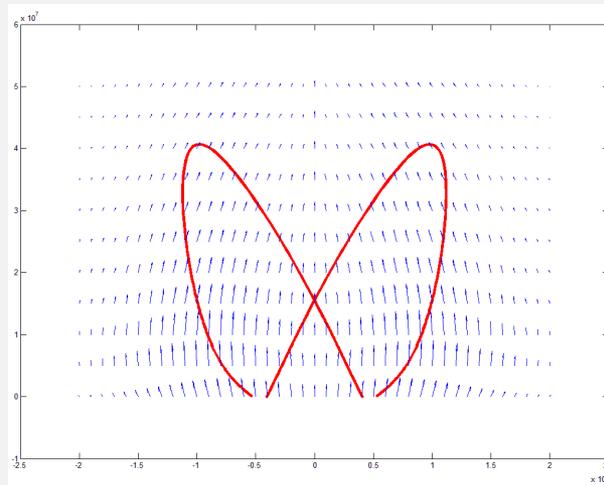
Зависимость модуля поля от X



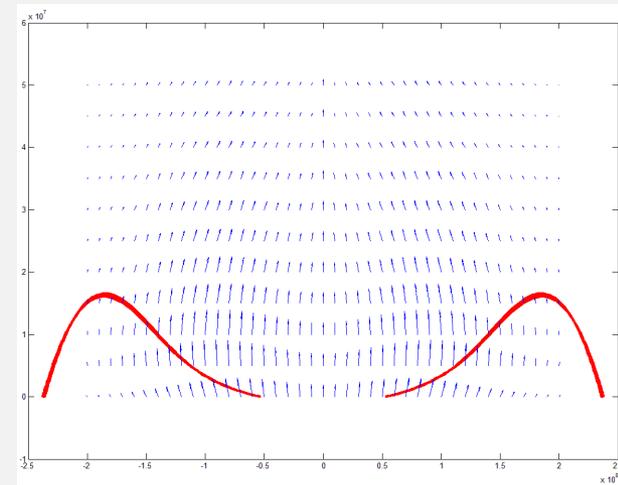
Траектории движения ионов



$$\frac{M}{Z} = 3,8$$



$$\frac{M}{Z} = 5,6$$



$$\frac{M}{Z} = 6,1$$

Вывод

На основе изображений солнечных вспышек построено двумерное распределение электрического поля вблизи активных областей. При решении уравнения движения найдены различные траектории движения ионов в этом поле. Все модельные траектории, представленные в данной работе, весьма похожи на реальные изображения вспышек на поверхности Солнца. Также показано, что движение ионов различных элементов в электрическом поле против силы тяжести зависит от электрической массы ионов M/Z . Всё это подтверждает важную роль электрического поля в формировании солнечных вспышек.