Физические методы медицинской диагностики

Тимошенко Виктор Юрьевич

MSU

Московский Государственный Университет
им. М. В. Ломоносова, Физический факультет

Лекция 5:

Получение изображений в магниторезонансной томографии

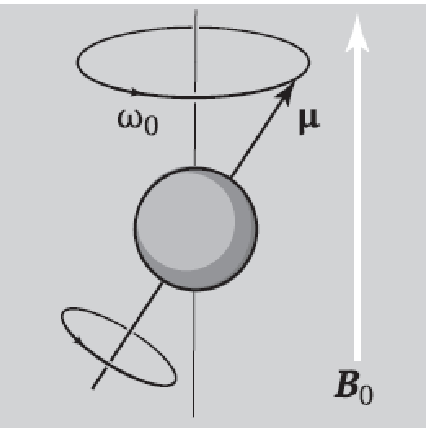
Теория ЯМР (уравнения Блоха)

Вектор намагниченности (M) в магнитном поле (B) прецессирует:

и релаксирует (R)

$$\frac{d\mathbf{M}(t)}{dt} = \mathbf{M}(t) \times \gamma \mathbf{B}(t) - \mathbf{R}(\mathbf{M}(t) - M_0)$$

по проекциям:



$$\frac{dM_z(t)}{dt} = \gamma[M_x(t)B_y(t) - M_y(t)B_x(t)] - \frac{M_z(t) - M_0}{T_1}$$

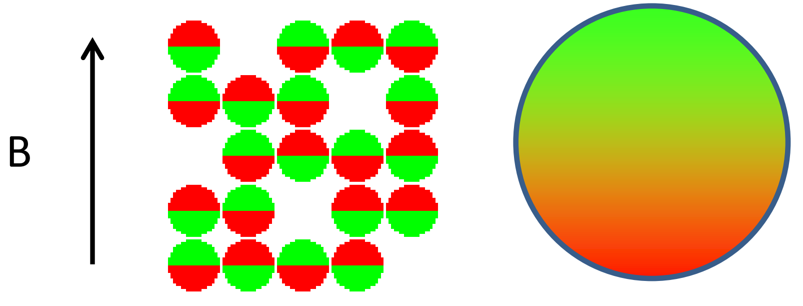
$$\frac{dM_x(t)}{dt} = \gamma[M_y(t)B_z(t) - M_z(t)B_y(t)] - \frac{M(t)_x}{T_2}$$

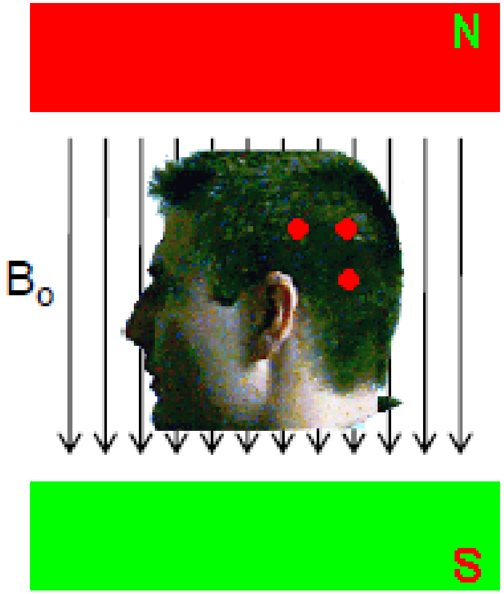
$$\frac{dM_y(t)}{dt} = \gamma[M_z(t)B_x(t) - M_x(t)B_z(t)] - \frac{M(t)_y}{T_2}$$

После выключения поля: $M_z(t) = M_0 \exp(-t/T_1)$

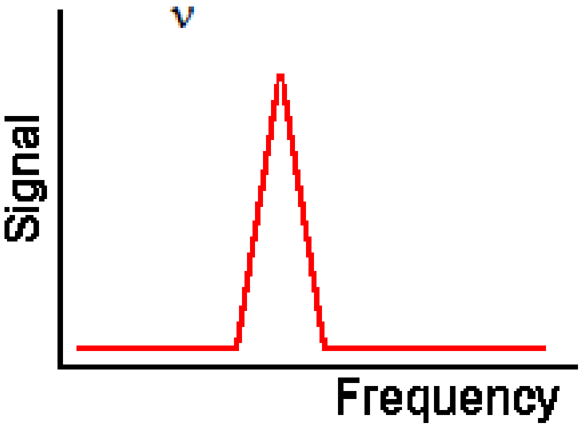
Спиновые пакеты

- Описание на квантовом уровне часто затруднительно (проекции спина могут принимать только определенные значения), поэтому для расчетов считают, что некая область пространства обладает суммарной усредненной намагниченностью.

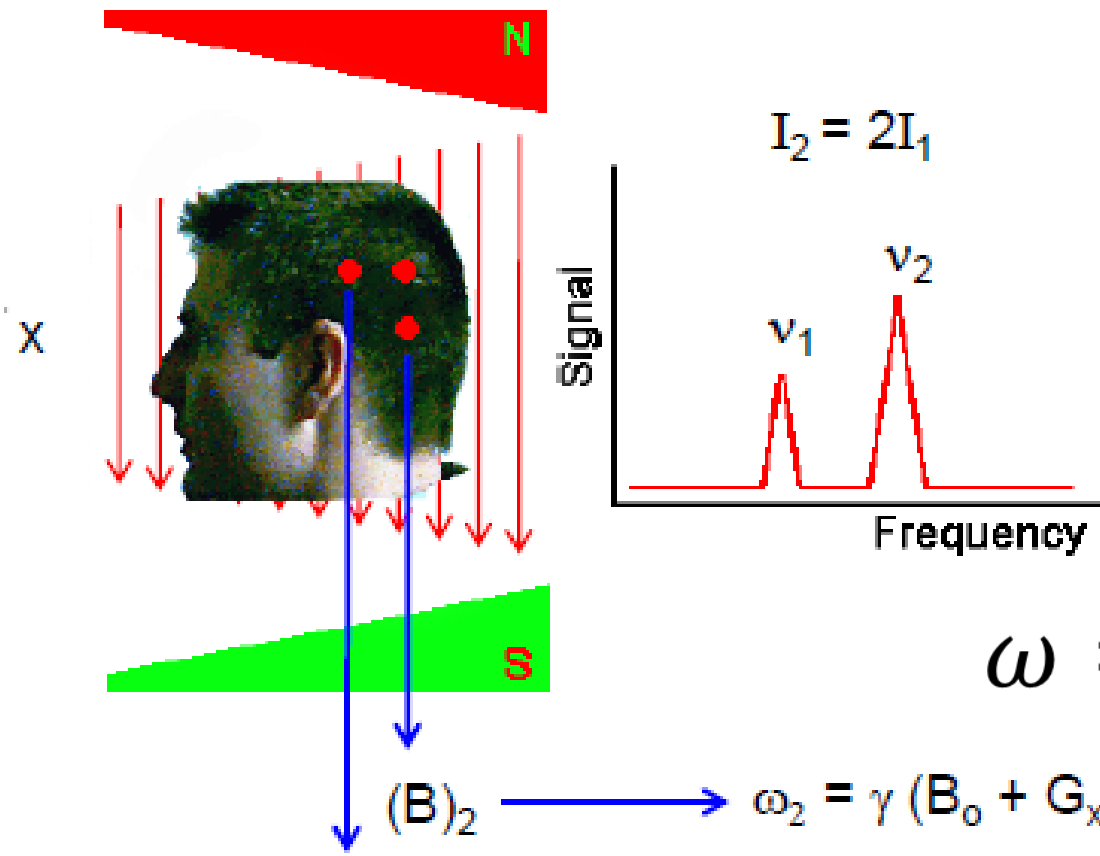




- Предположим, что у нас есть 3 области с большой концентрацией ЯМР-активных протонов в однородном магнитном поле
- Пространственная локализация областей невозможна



Неоднородное магнитное поле



- Разные области будут реагировать на различные частоты
- Возможна Пространственная локализация областей

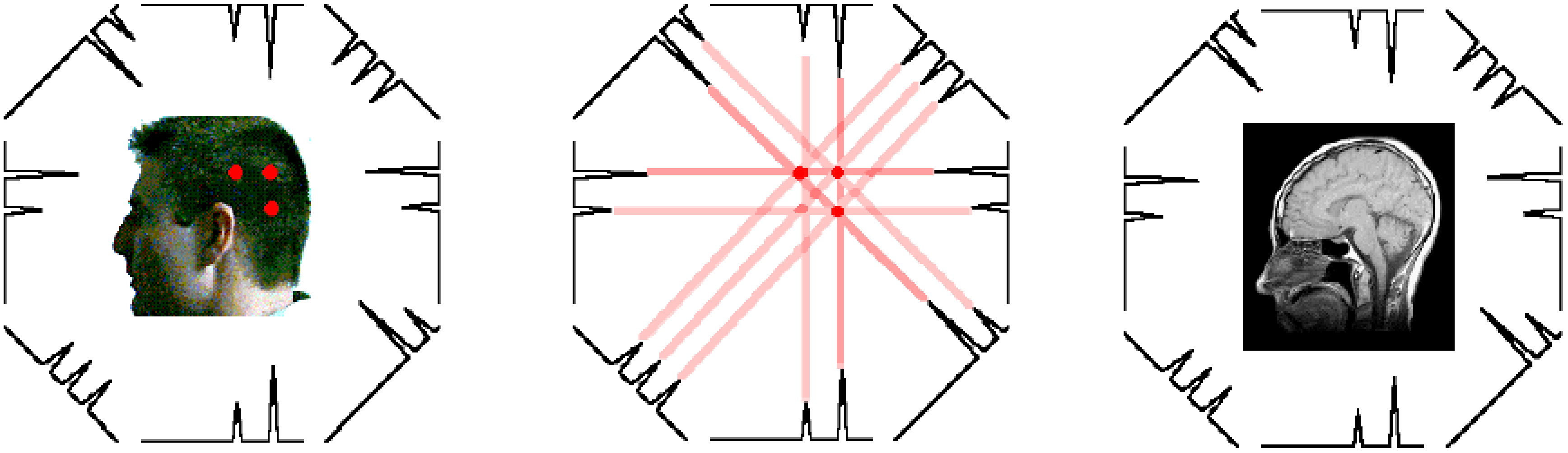
$$\omega = \gamma(B_0 + \bar{G}\bar{r})$$

$$(B)_2 \longrightarrow \omega_2 = \gamma\,(B_o + G_x\,x_2) = \gamma\,(B)_2 = 2\pi\nu_2$$

$$(B)_1 \longrightarrow \omega_1 = \gamma\,(B_o + G_x\,x_1) = \gamma\,(B)_1 = 2\pi\nu_1$$

Метод обратного проецирования

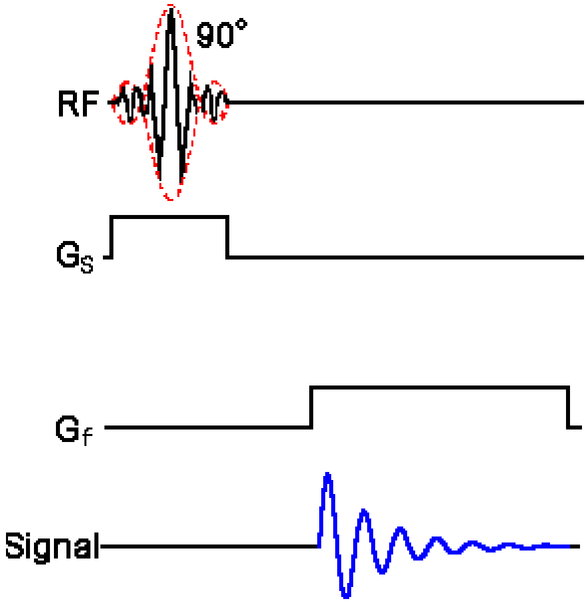
- Типичный градиент поля составляет порядка 1 % напряженности. Изменяя магнитное поле по разным направлениям после обработки можно получить изображение



90^{O} импульс

- При помощи импульса определенной частоты и длительности, вектор намагниченности может быть повернут в плоскость XY
- Вектор намагниченности будет прецессировать в плоскости XY и испускать ЭМ излучение с частотой прецессии

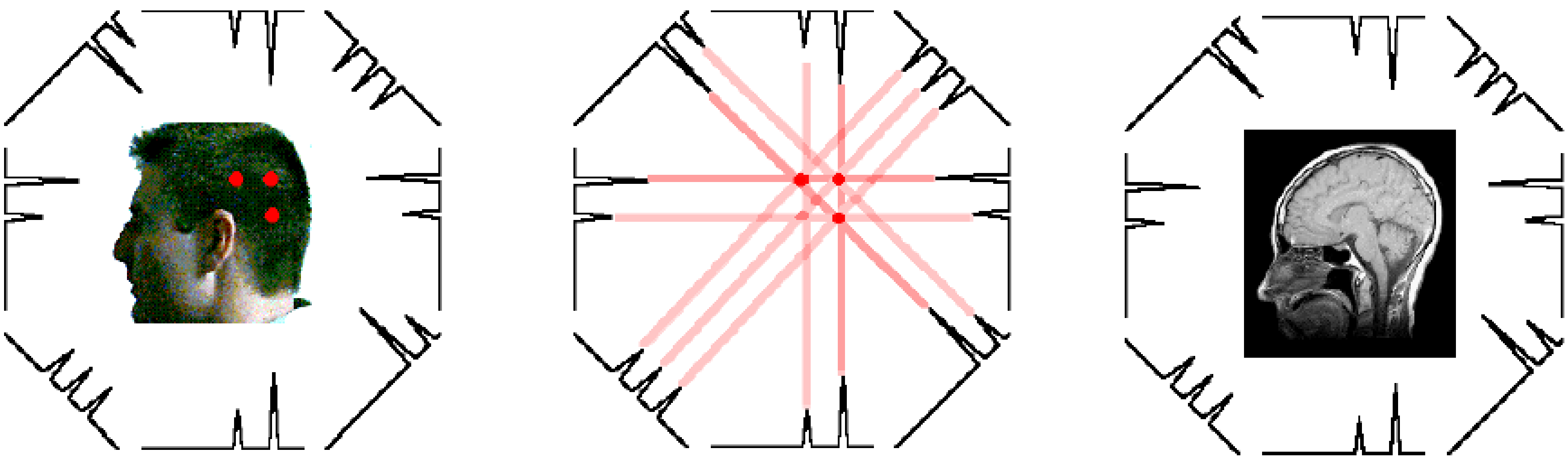
Выбор среза



- Частота при которой может быть поглощен 90 ^{O} импульс также пропорциональна магнитному полю. Можно приложить градиент поля вдоль оси Z и возбудить прецессию в срезе, перпендикулярном к ней
- Частота прецессии также пропорциональна магнитному полю, поэтому направляя градиент в плоскости XY можно получить сигнал от различных направлений

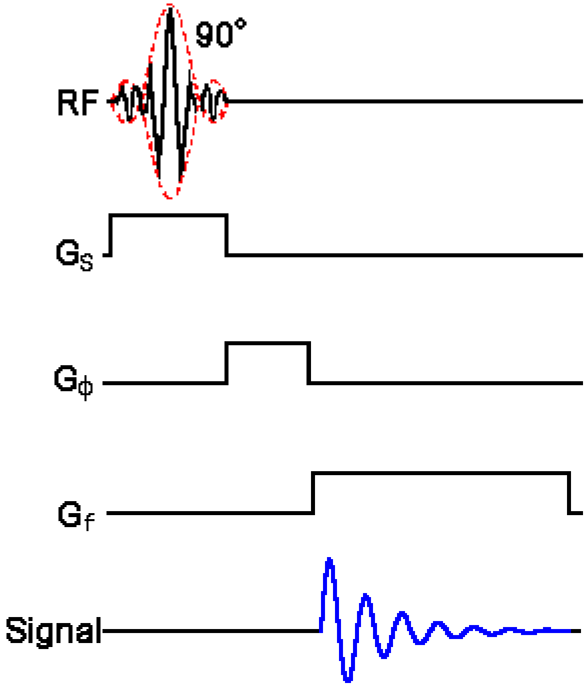
Метод обратного проецирования

- Проблема метода – необходимо точное управление и широкий контроль за конфигурацией поля



Это был первый метод для получения МРТ, сейчас он не используется

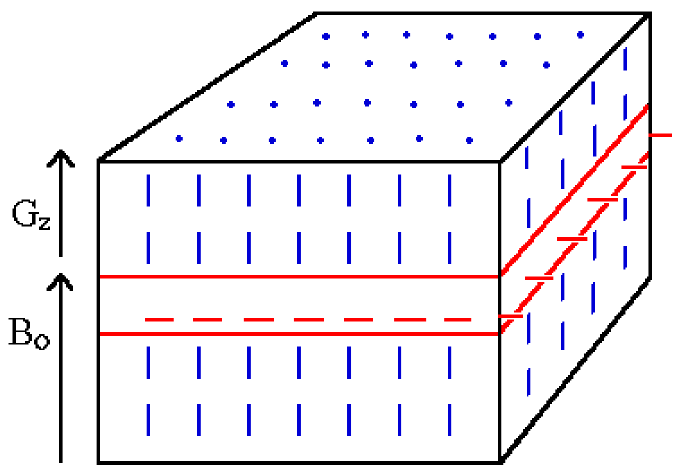
Как же получают изображение в современном МРТ?



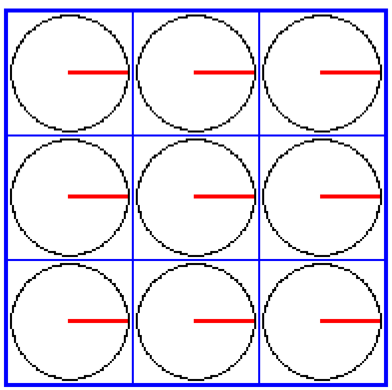
- Для получения изображения используют серию импульсов в определенной последовательности.
- Рассмотрим простейшую из них

Как же получают изображение в современном МРТ?

- Если импульс подать при наличие градиента намагниченности, то получим возбуждение протонов только в одном слое

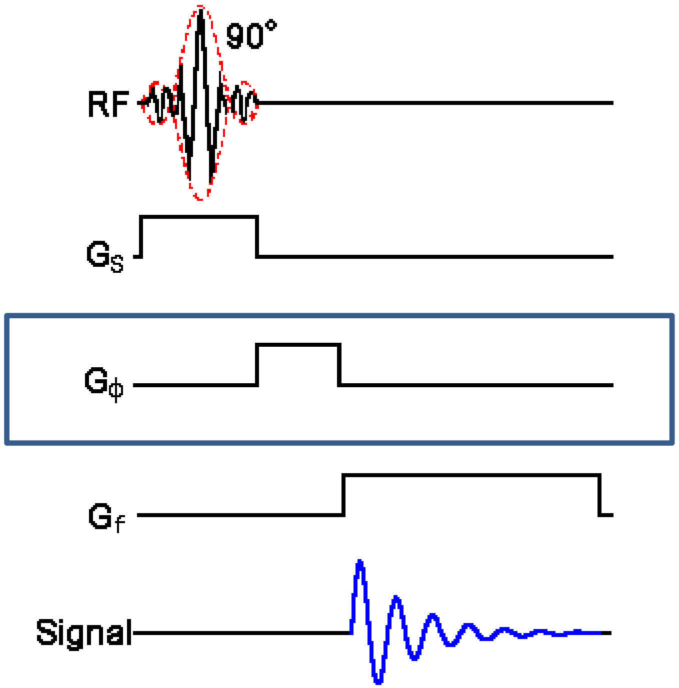


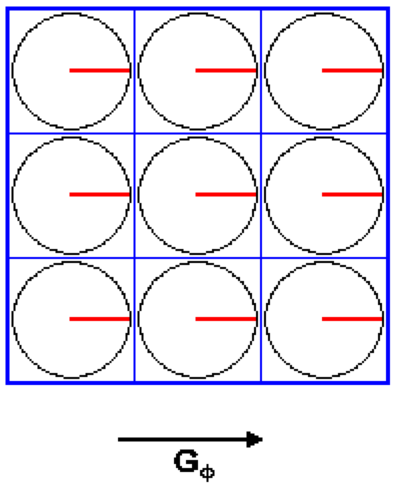
Воксель – объемный пиксель



- После поглощения импульса начинается прецессия векторов намагниченности

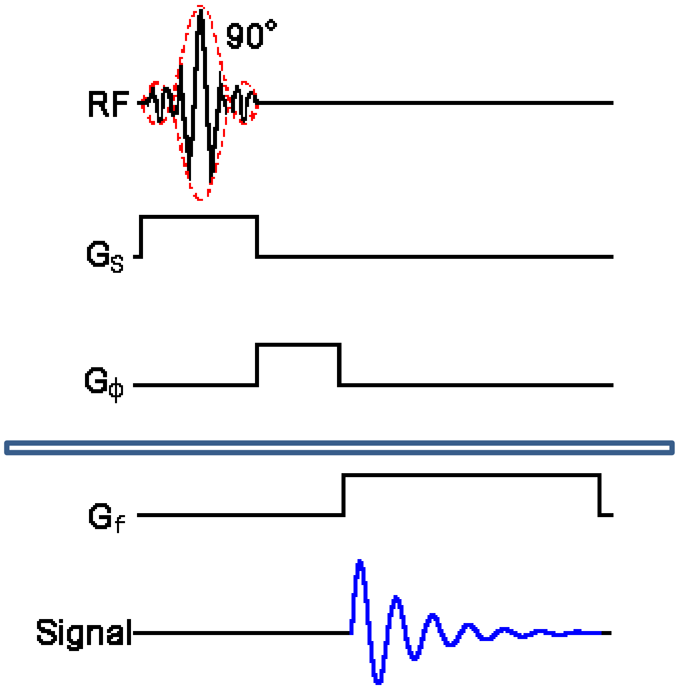
Как же получают изображение в современном МРТ?

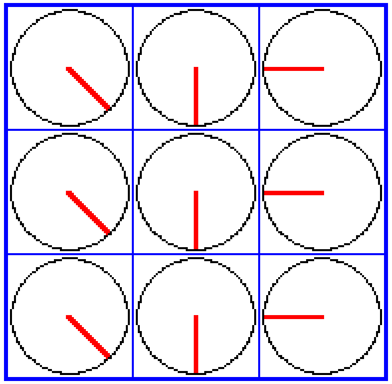




- Во время фазокодирующего градиента происходит изменение частот вращения и расфазировка вдоль одной из осей

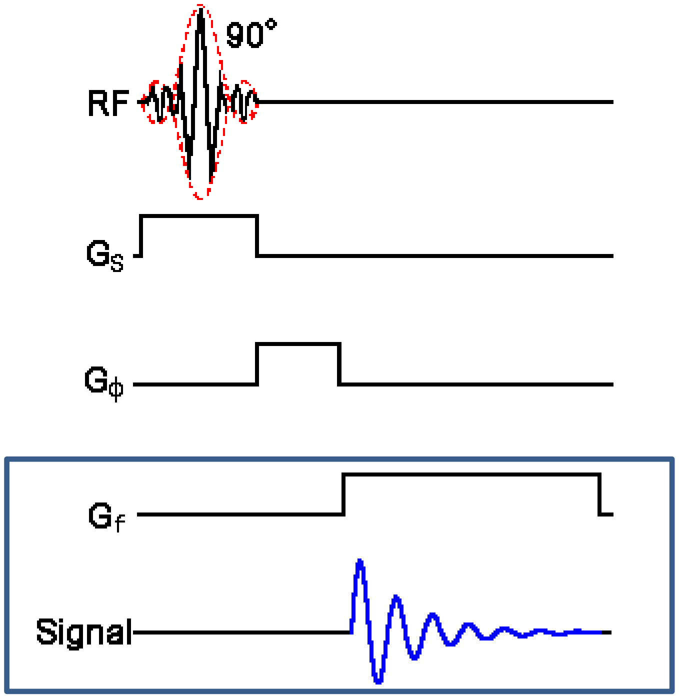
Как же получают изображение в современном МРТ?

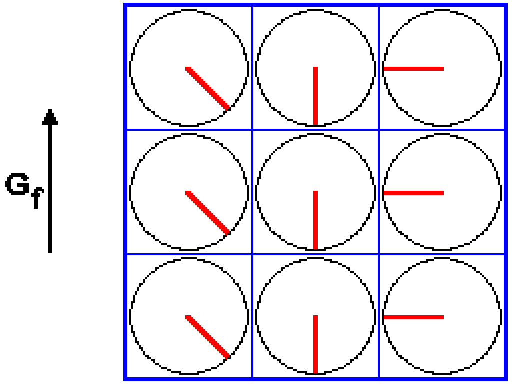




- После фазокодирующего импульса все вектора намагниченности продолжают вращаться, но в фазе, зависящей от координаты X

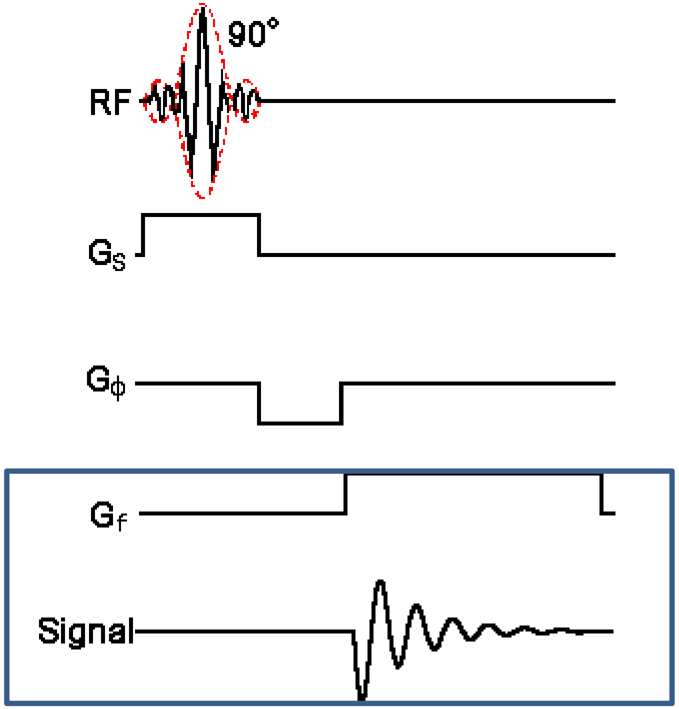
Как же получают изображение в современном МРТ?

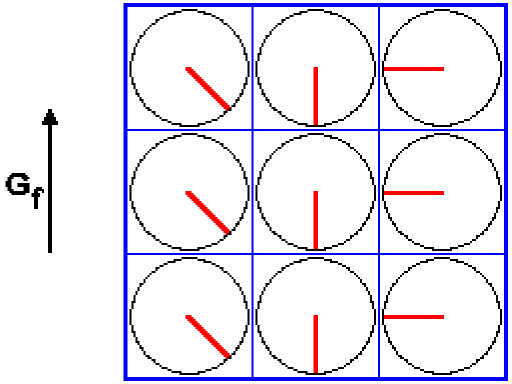




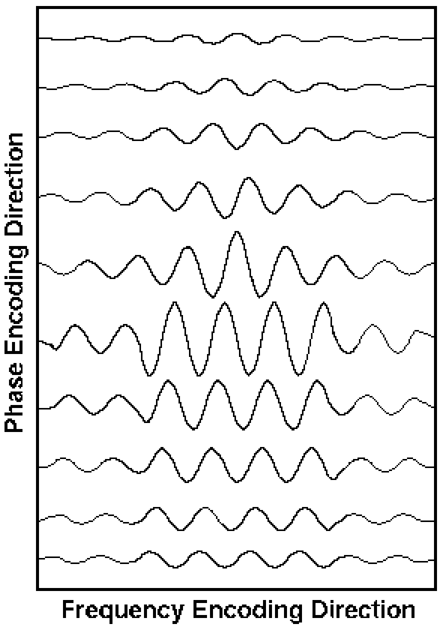
Частотно-кодирующий градиент заставляет спиновые пакеты прецессировать с частотами, зависящими от их Y положения. Если бы существовала возможность определения фазы и частоты сигнала из вектора суммарной намагниченности, можно было бы определить позицию каждого из девяти элементов.

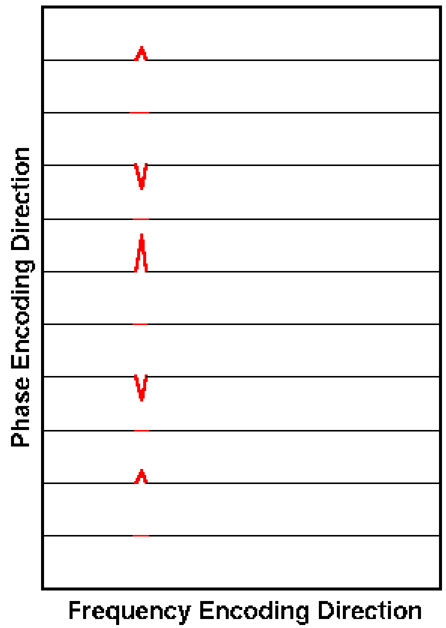
Как же получают изображение в современном МРТ?

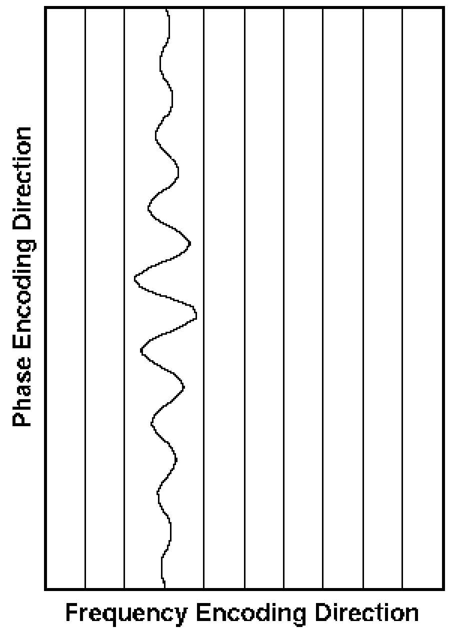


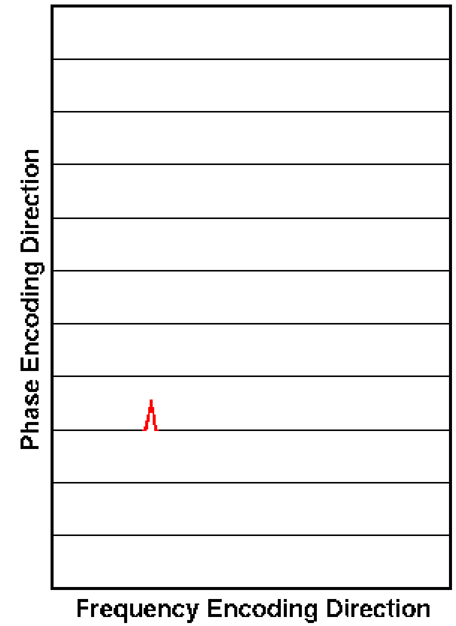


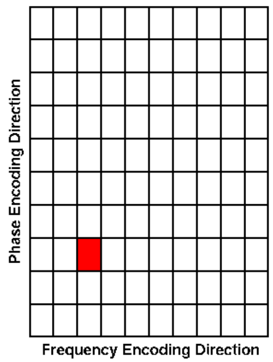
Как же получают изображение в современном МРТ?

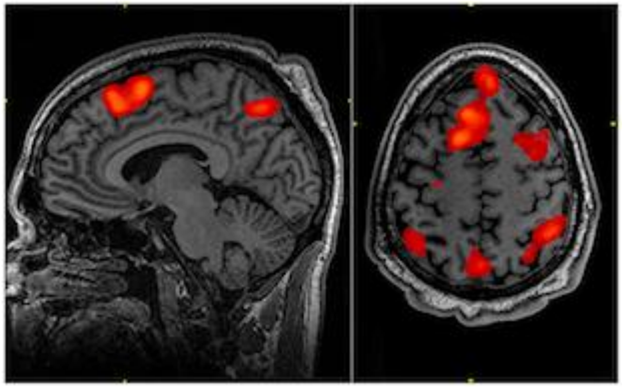






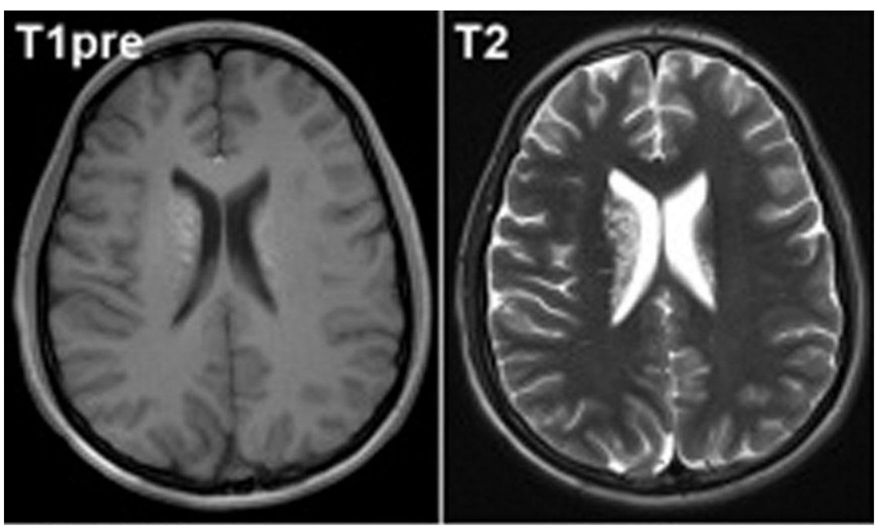






Какие изображения взять?

- Частота резонансного поглощения ЯМР зависит от индукции магнитного поля
- Если создать область с различной пространственной индукцией магнитного поля, можно селективно возбуждать спины
- Кроме того, частота прецессии магнитных моментов также зависит от индукции внешнего магнитного поля
- Эти зависимости можно использовать для пространственного разделения сигналов

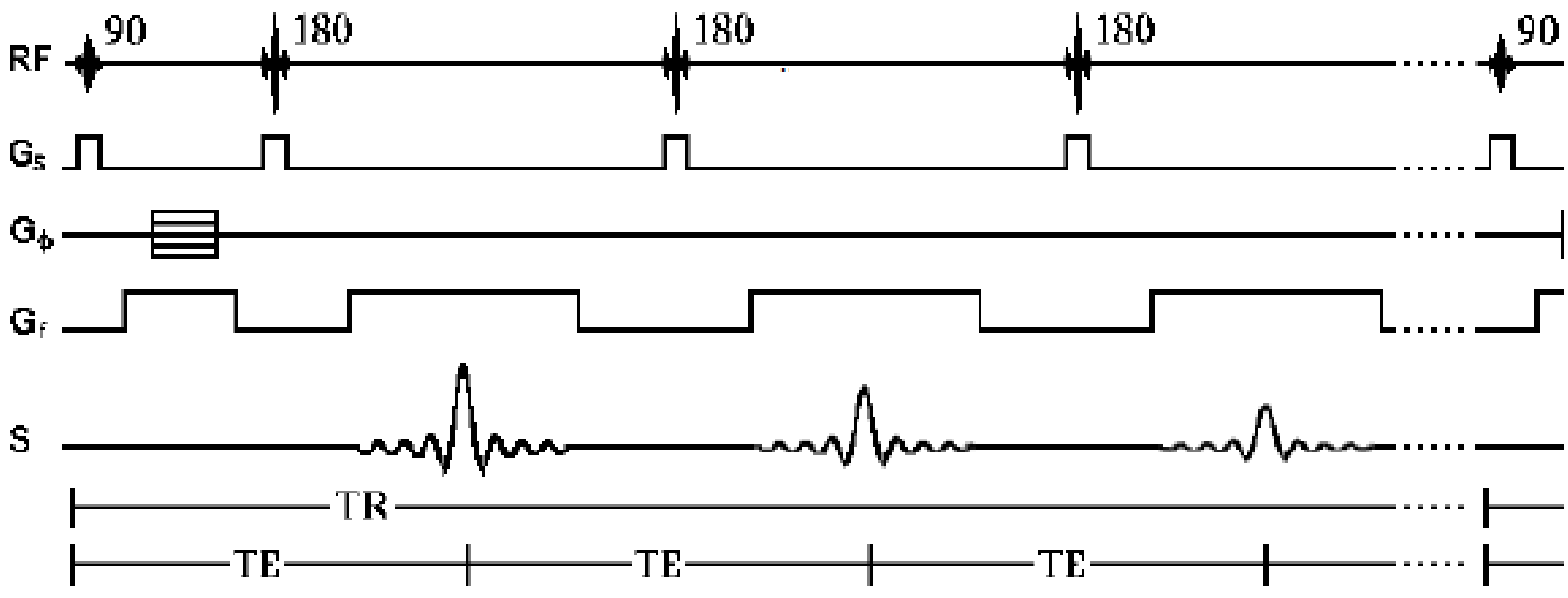


$$M_z = M_o \left(1 - e^{-t/T1} \right)$$

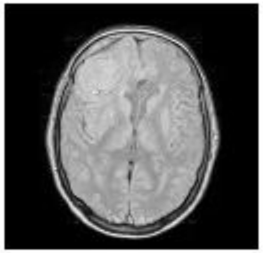
$$M_{XY} = M_{XYo}\, e^{-t/T2}$$

Как получить T1 изображение?

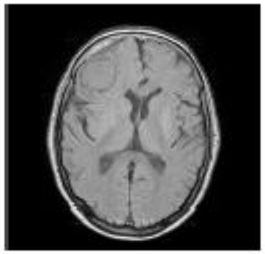
- T1 изображение – после расфазировки нужно приложить 180^{O} импульс, переворачивающий вектора намагниченности



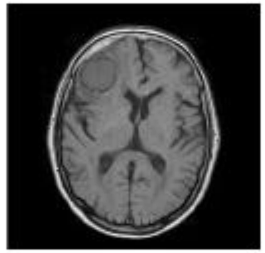
Контрастность T1 и T2 изображения



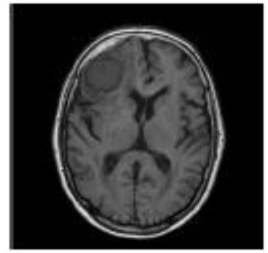
TE = 1 ms
TR = 5000 ms



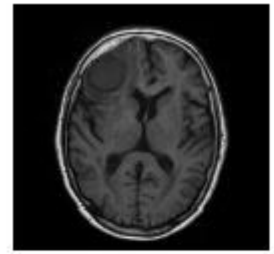
TE = 1 ms
TR = 2000 ms



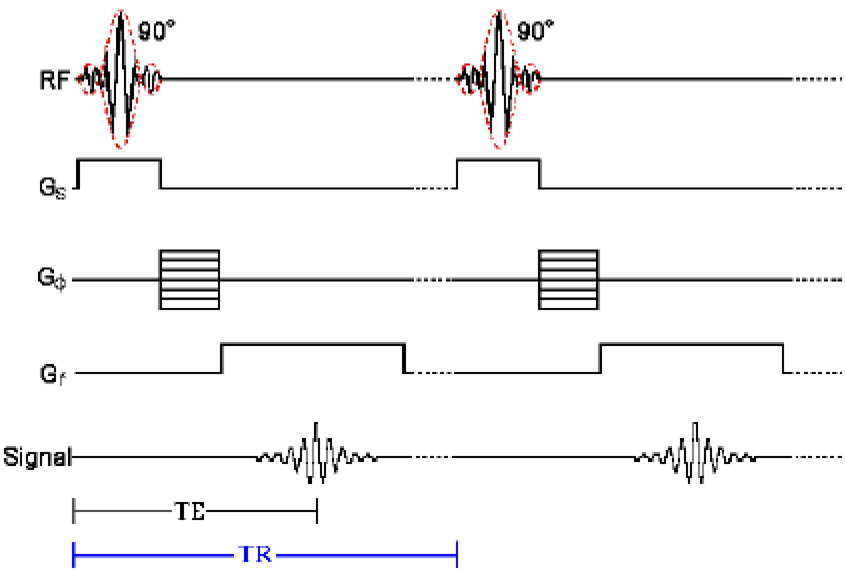
TE = 1 ms
TR = 1000 ms



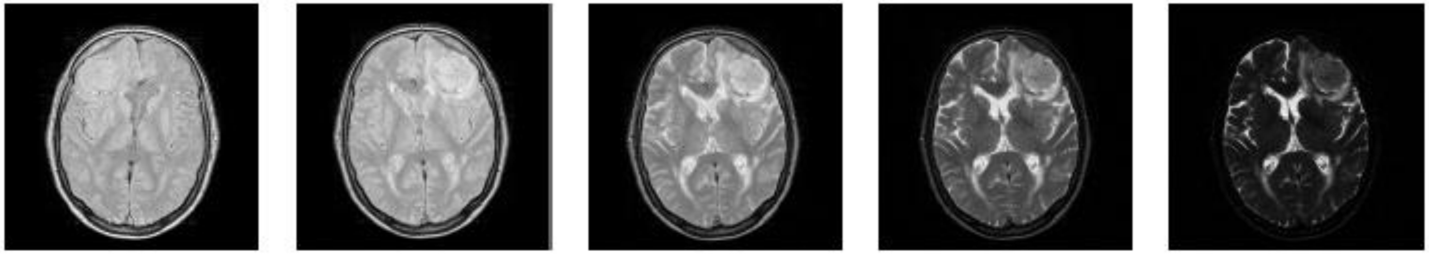
TE = 1 ms
TR = 500 ms



TE = 1 ms
TR = 200 ms



Контрастность T1 и T2 изображения



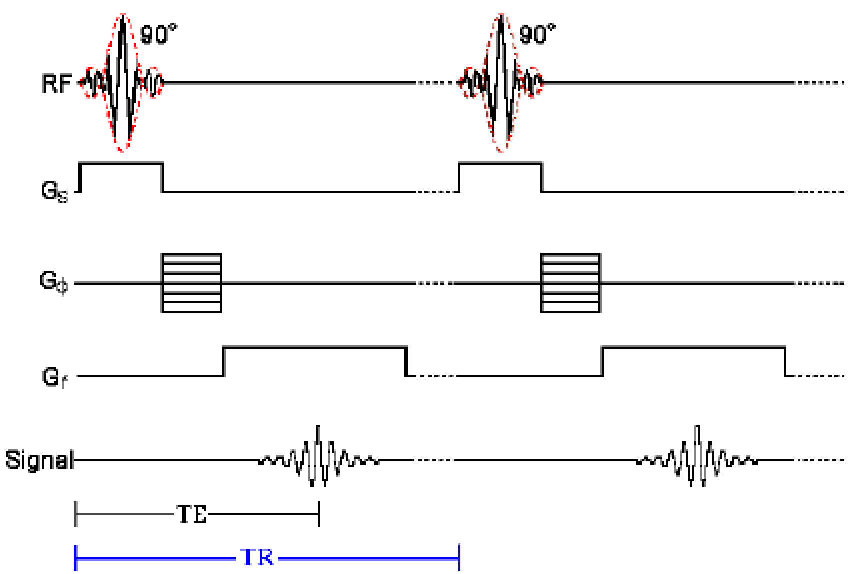
TE = 1 ms
TR = 5000 ms

TE = 20 ms
TR = 5000 ms

TE = 50 ms
TR = 5000 ms

TE = 100 ms
TR = 5000 ms

TE = 200 ms
TR = 5000 ms



Полезные ссылки

- http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/

Итоги Лекции 5:

- Построение МРТ изображения основано на изменении сигнала ЯМР вследствие градиента магнитного поля (1-7 Тл). Чем больше индукция поля и ее градиент (~1%), тем лучше пространственное разрешение.
- В современных МРТ приборах используют импульсные методы развертки и формирования изображения с применением фазокодирующего градиента из 90^o и 180^o импульсов высокочастотного электромагнитного излучения.
- Элементарной единицей МРТ изображения является воксель (объемный пиксель)
- МРТ изображения обычно получают для T_1 или T_2 времен релаксации.