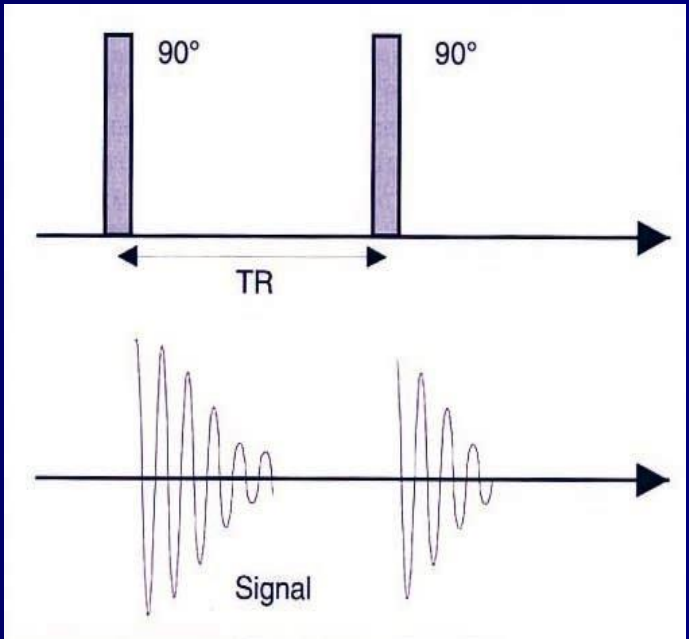
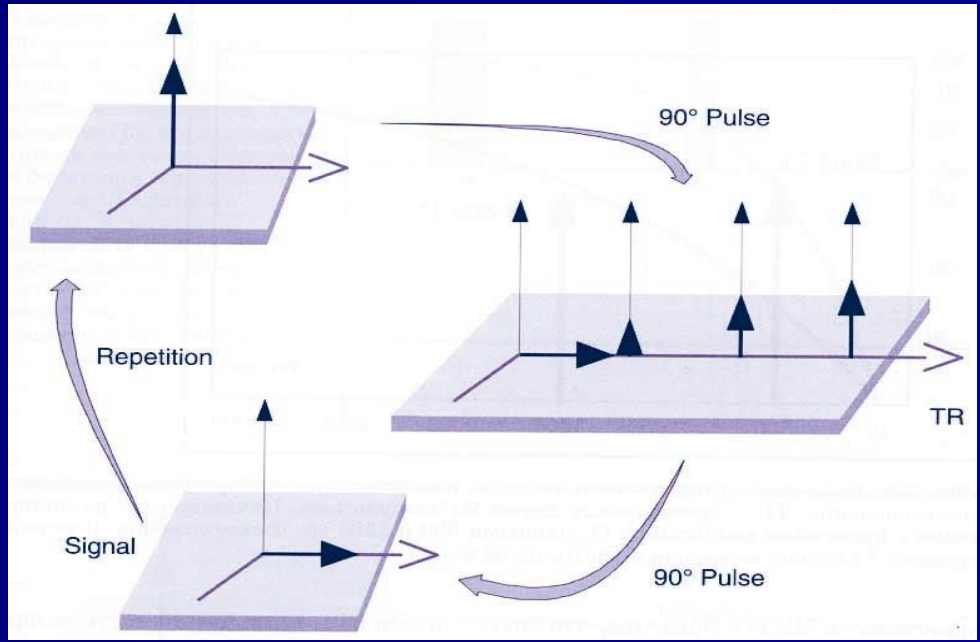
# Последовательности градиентных эхо-сигналов

- Самая первая последовательность градиентных эхо-сигналов была представлена Акселем Хаазелем в 1986 году под названием **FLASH** – ***Fast Low Angle Shot Imaging***, которая является реализацией метода насыщение-восстановление.

# Последовательность «восстановление с частичным или полным насыщением»



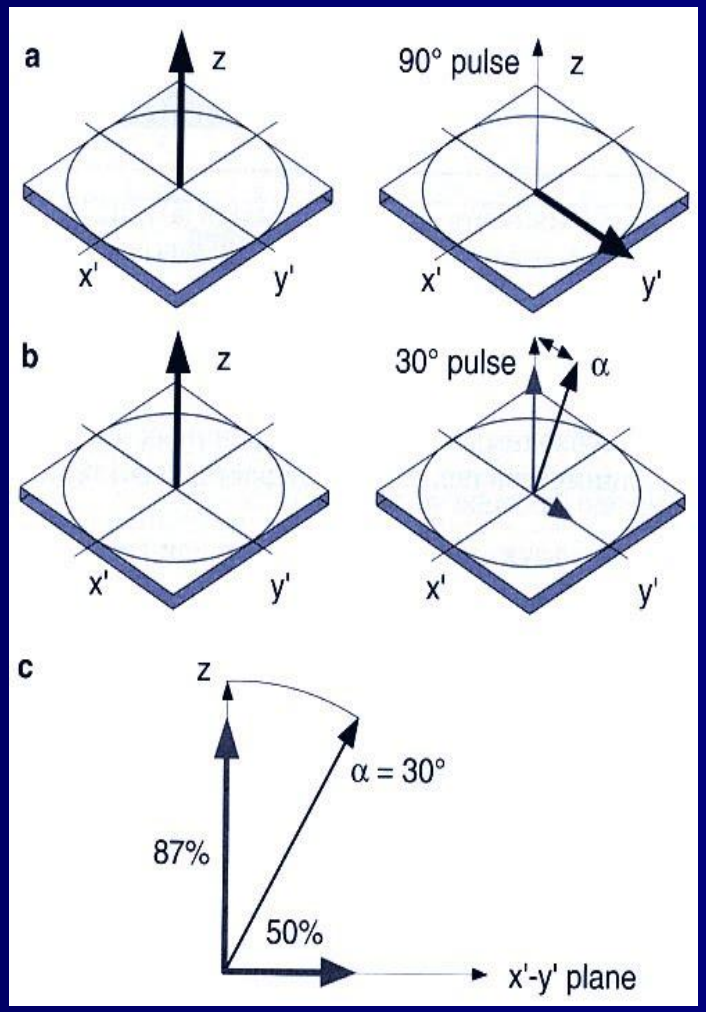

**TR-время повторения**

**$Mz= M_0(1-exp[-TR/T1])$**

**Если TR не превышает время, за которое спины полностью возвращаются к состоянию равновесия (TR<5T1), то соотв. интенсивность FID меньше максимально возможной.**

Намагниченность $M_0$ отклоняется на $90^0$. В течение времени TR спиновая система релаксирует, намагниченность восстанавливается. Для оценки получившейся намагниченности подается снова $90^0$- импульс для перевода её в плоскость x′-y′.

# Быстрая томография. Последовательности градиентных эхо-сигналов.




Принцип стандартной имп. последовательности (a), в сравнении с FLASH (b).

В последовательности FLASH угол отклонения меньше $90^0$, то есть он делит намагниченность на продольную и поперечную компоненты (c).

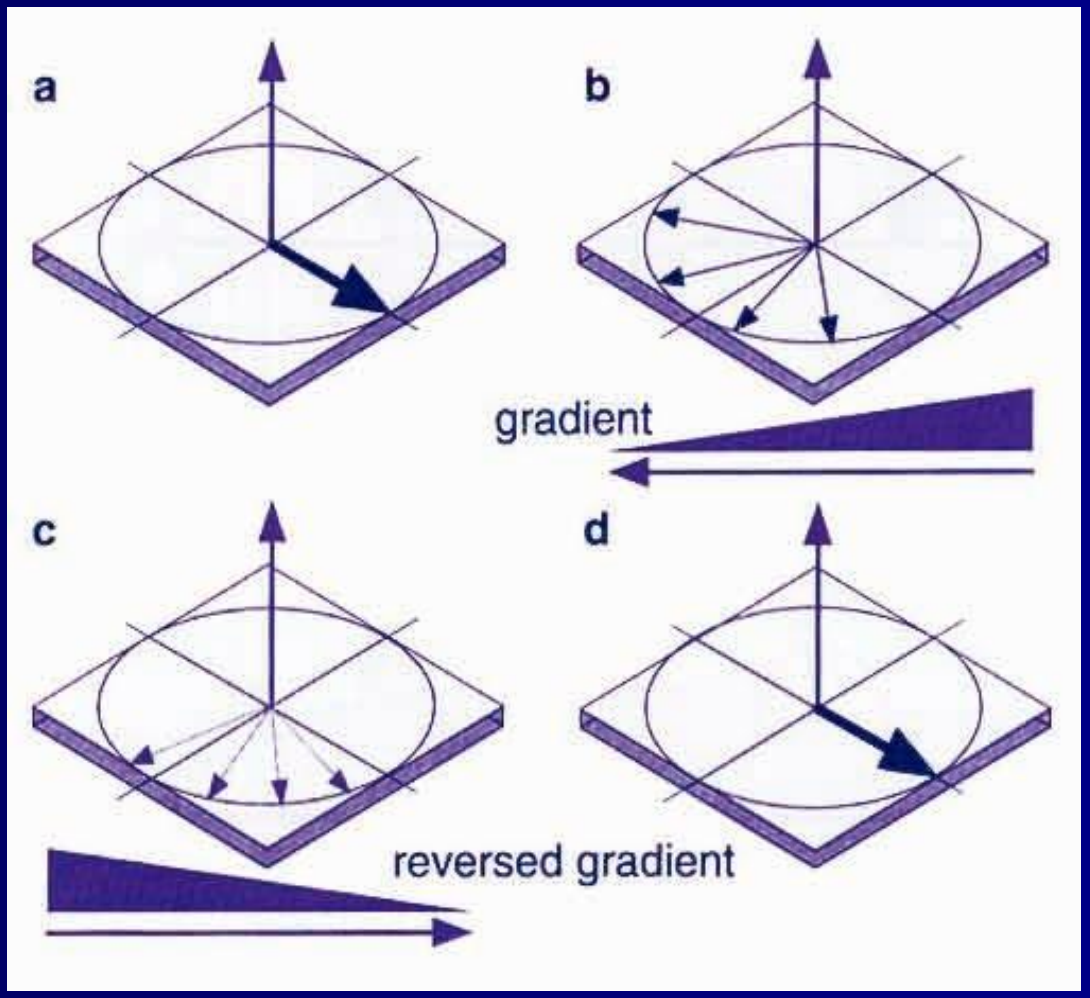
В данном случае угол отклонения равен $30^0$.

Такой импульс сохраняет 87% продольной намагниченности, создавая поперечную намагниченность, равную 50% от максимально достигаемого значения.

Угол отклонения называется углом Эрнста, который вычисляется следующим образом:

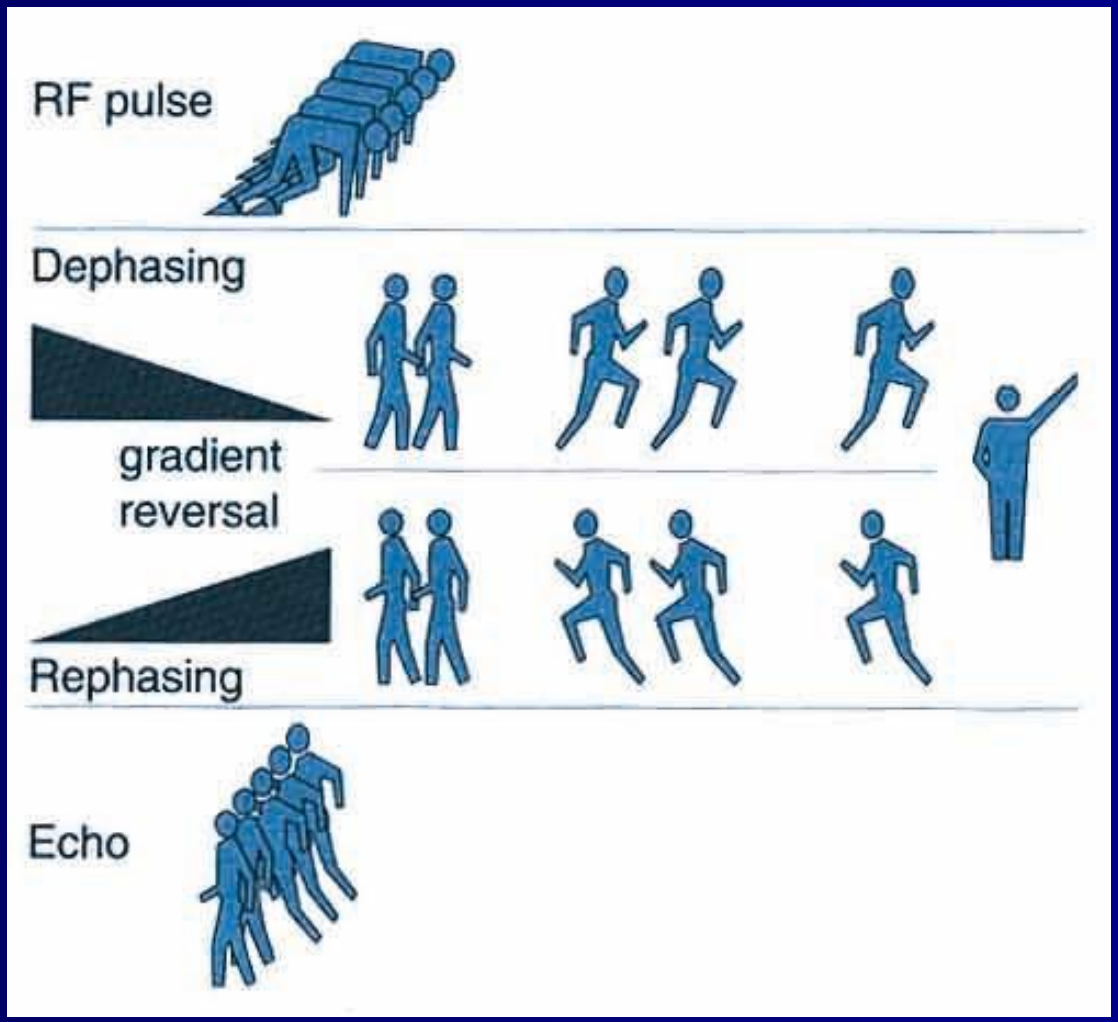
Угол Эрнста = arccos [exp (-TR/T1)

# Образование градиентного эха



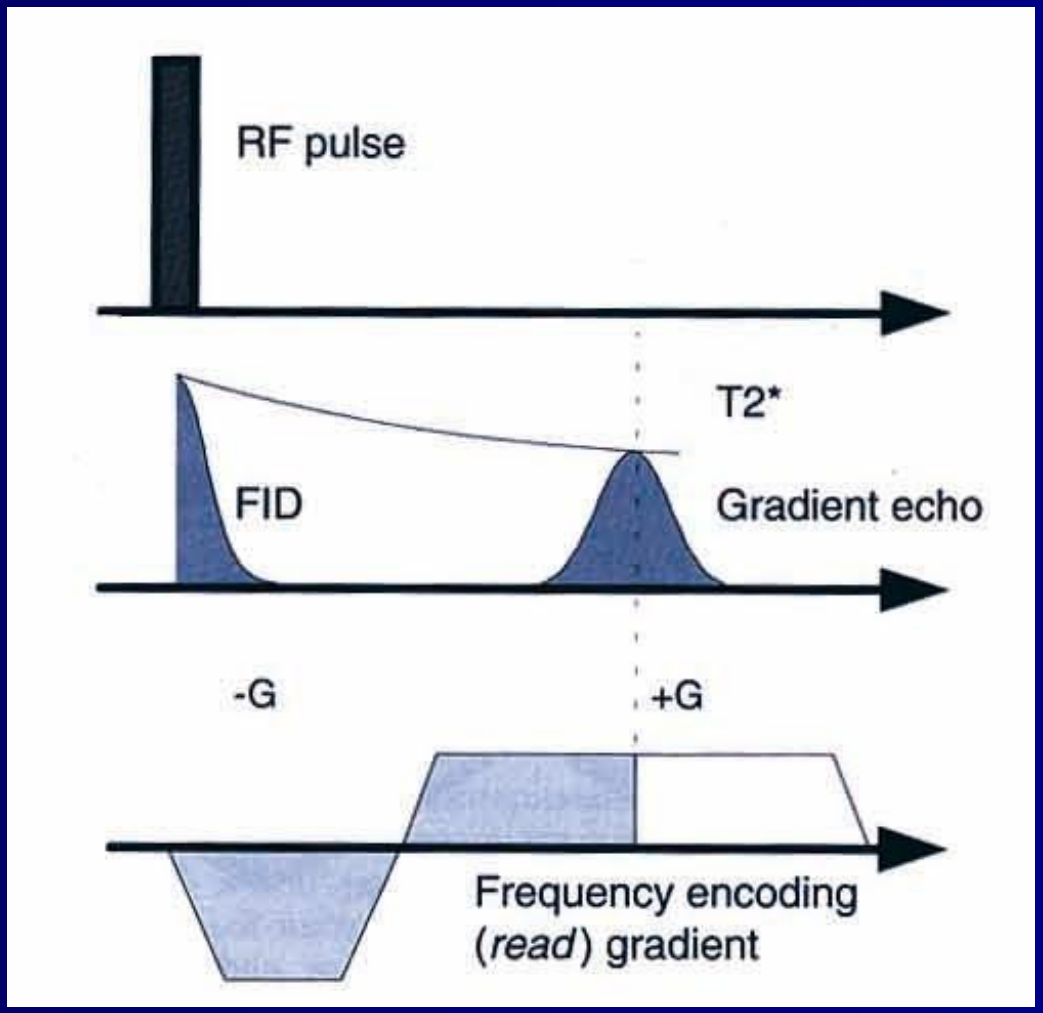

Сразу после подачи РЧ-импульса поперечная Намагниченность велика, т.к. все спины синфазны.Далее (б) эти спины начинают разбегаться по фазе(наложение ускоряет этот процесс).
(с) Изменяется знак градиента, и спины начинают двигаться в обратном направлении.
(d) – образуется градиентное эхо.

# Образование градиентного эха: аналогия с бегунами



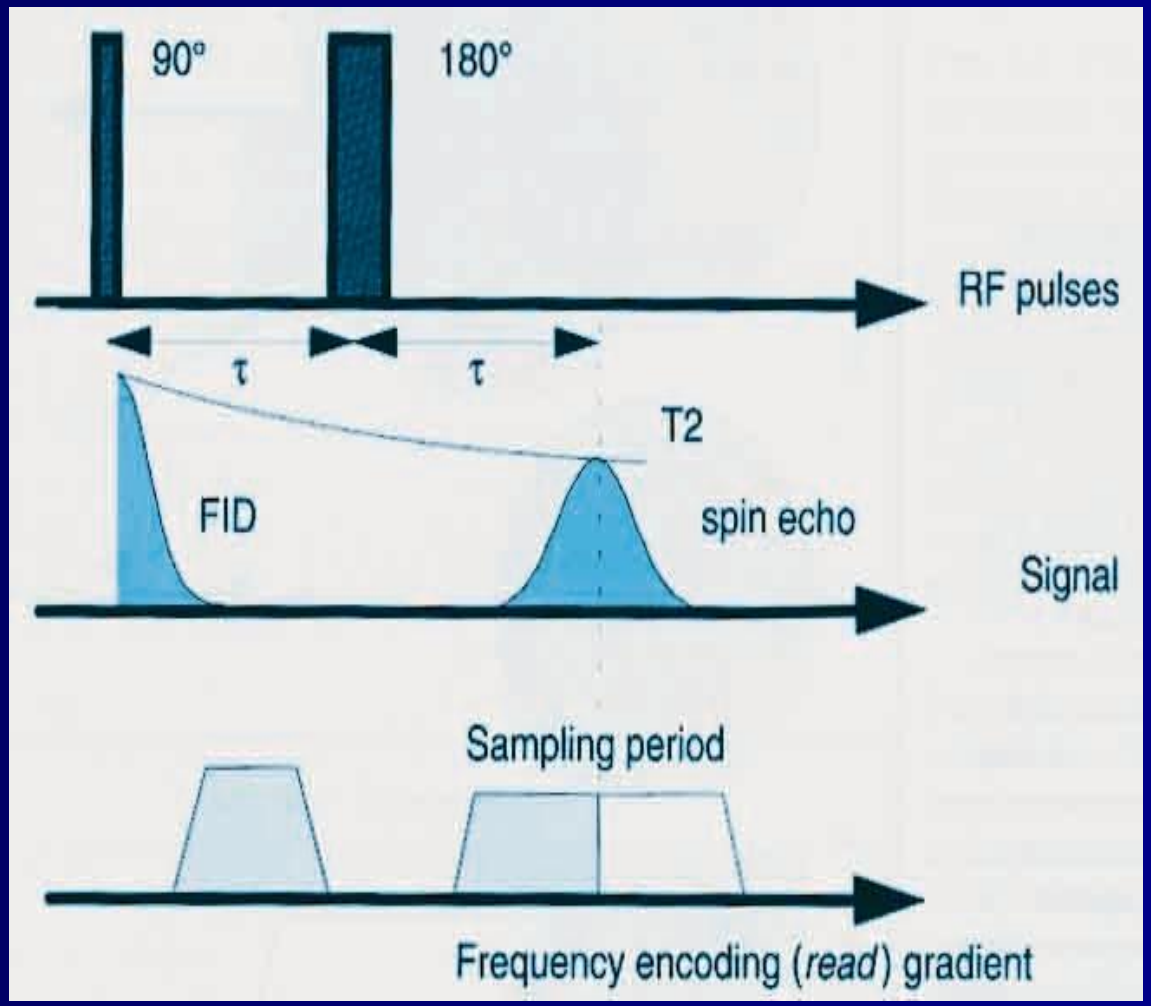

В момент РЧ-импульса все бегуны находятся на линии старта. После старта они начинают растягиваться вдоль дорожки. Перемена знака градиента означает команду «Всем бежать обратно!!!». И они бегут обратно к линии старта, от которой более резвые бегуны отбежали дальше. В отличие от спин-эхо эксперимента каждый бегун возвращается по своей дорожке. У линии старта они собираются вместе. Возникает эхо.

# Образование градиентного эха Диаграмма импульсной последовательности



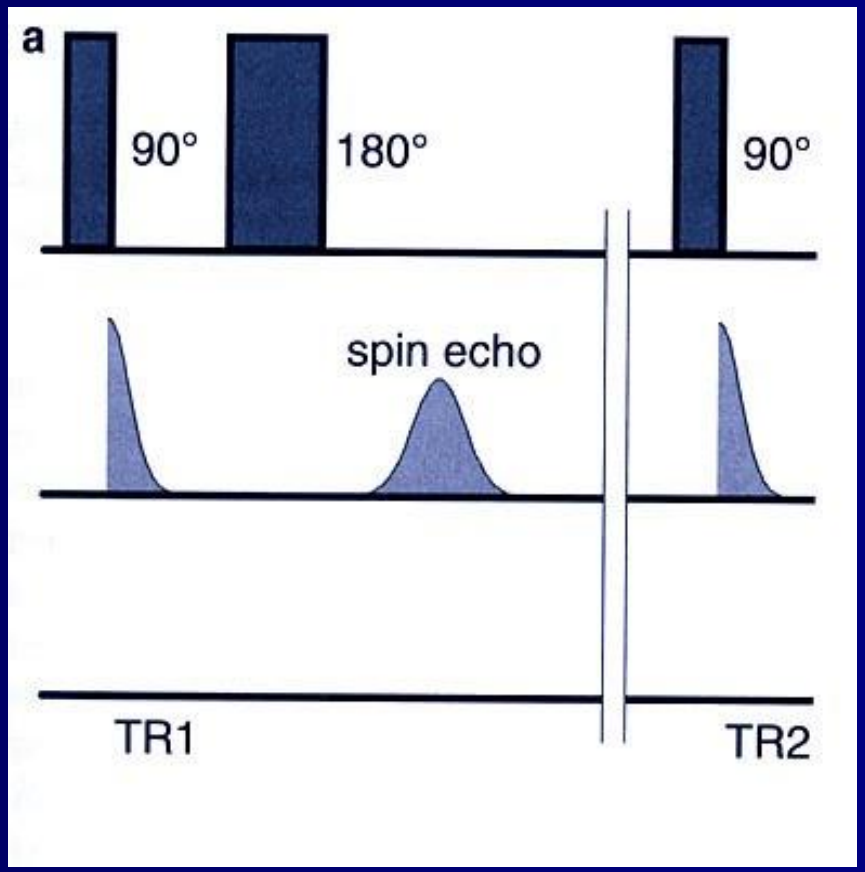

Вместо $180^0$-импульса здесь используется градиентный импульс (-G), за которым следует другой градиентный импульс (+G). Он и вызывает градиентное эхо. Сигналы спин-эхо спадают в соответствии с T2, т.к. для них все эффекты локальных неоднородностей магнитного поля взаимно уничтожаются. В случае градиентных эхо-сигналов же спад сигнала определяется временем T2*, которое всегда короче T2.

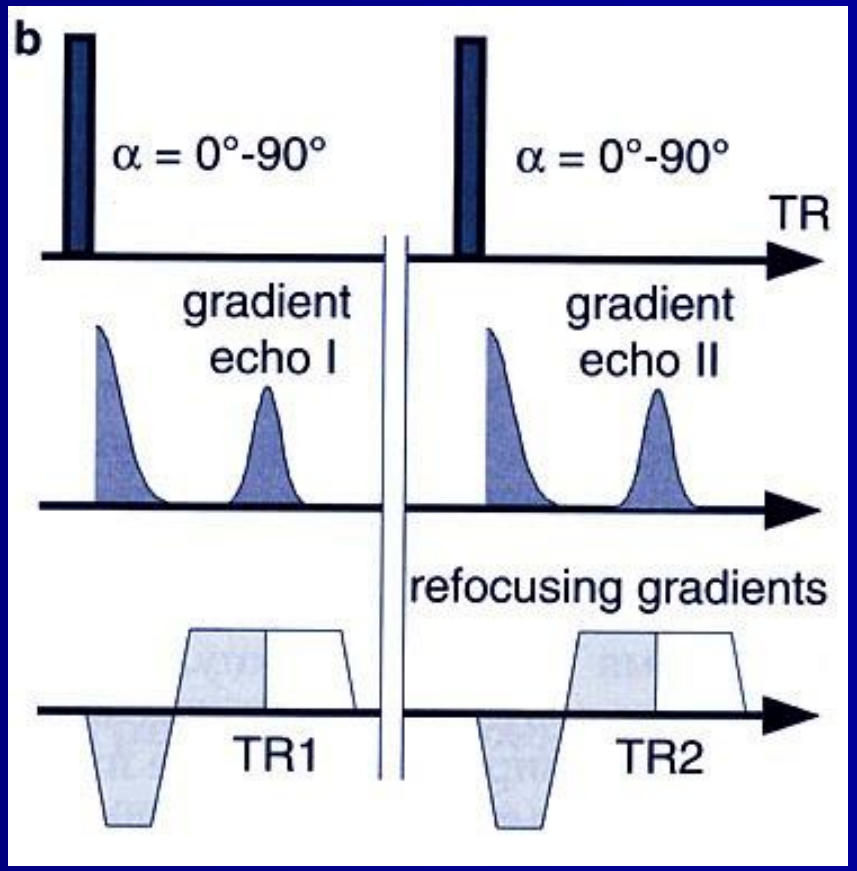
# Метод спин-эхо-томографии




Градиентный импульс, расположенный между $90^0$ и $180^0$- импульсами по площади равен заштрихованной части градиента, который включается после $180^0$-импульса. Так как $180^0$-имп. индуцирует обращение фаз, то эффекты наложения градиента не мешают образованию эхо-сигнала.

# Стандартная спин-эхо последовательность в сравнении с быстрым томографированием типа FLASH



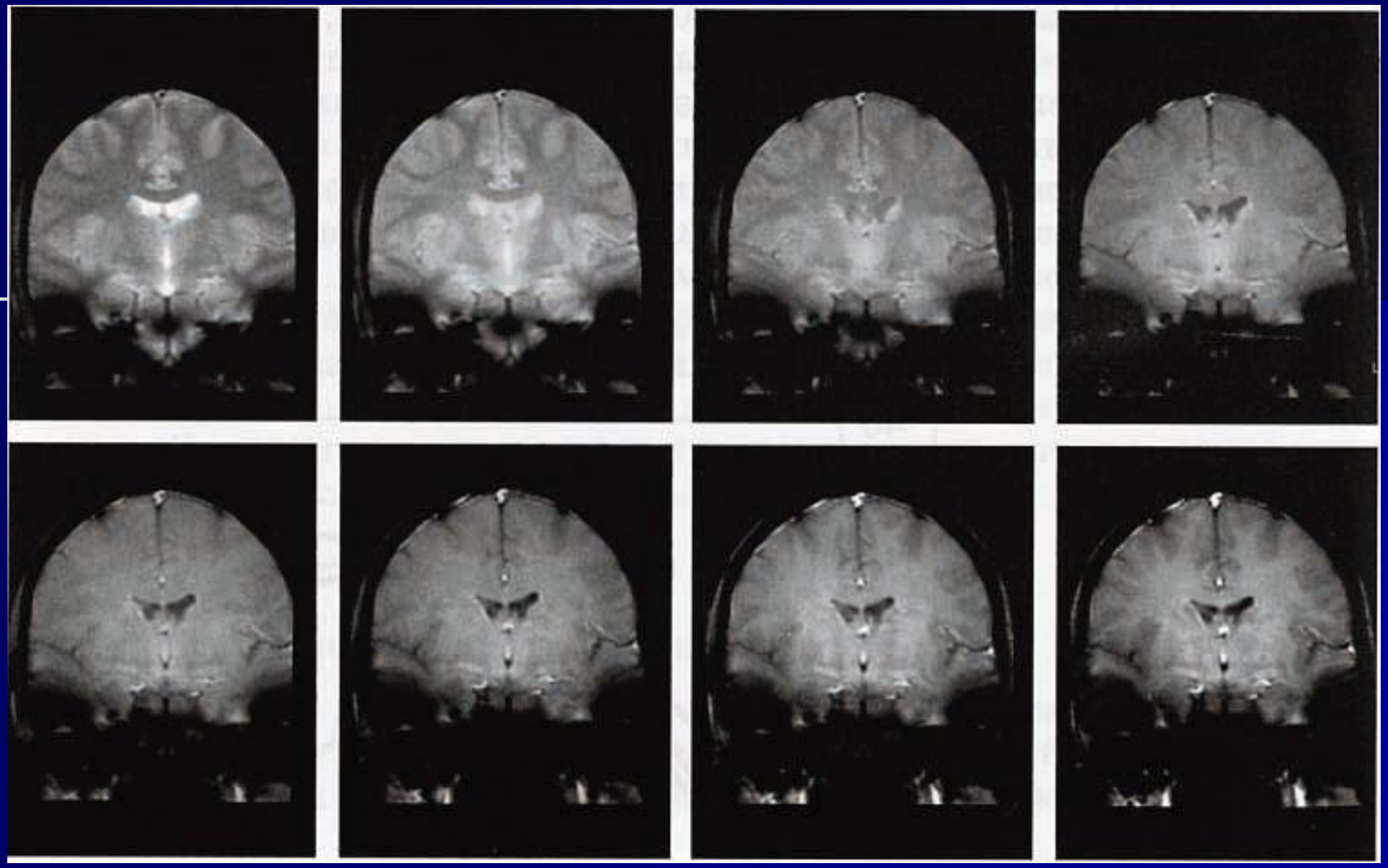




SE-последовательность.

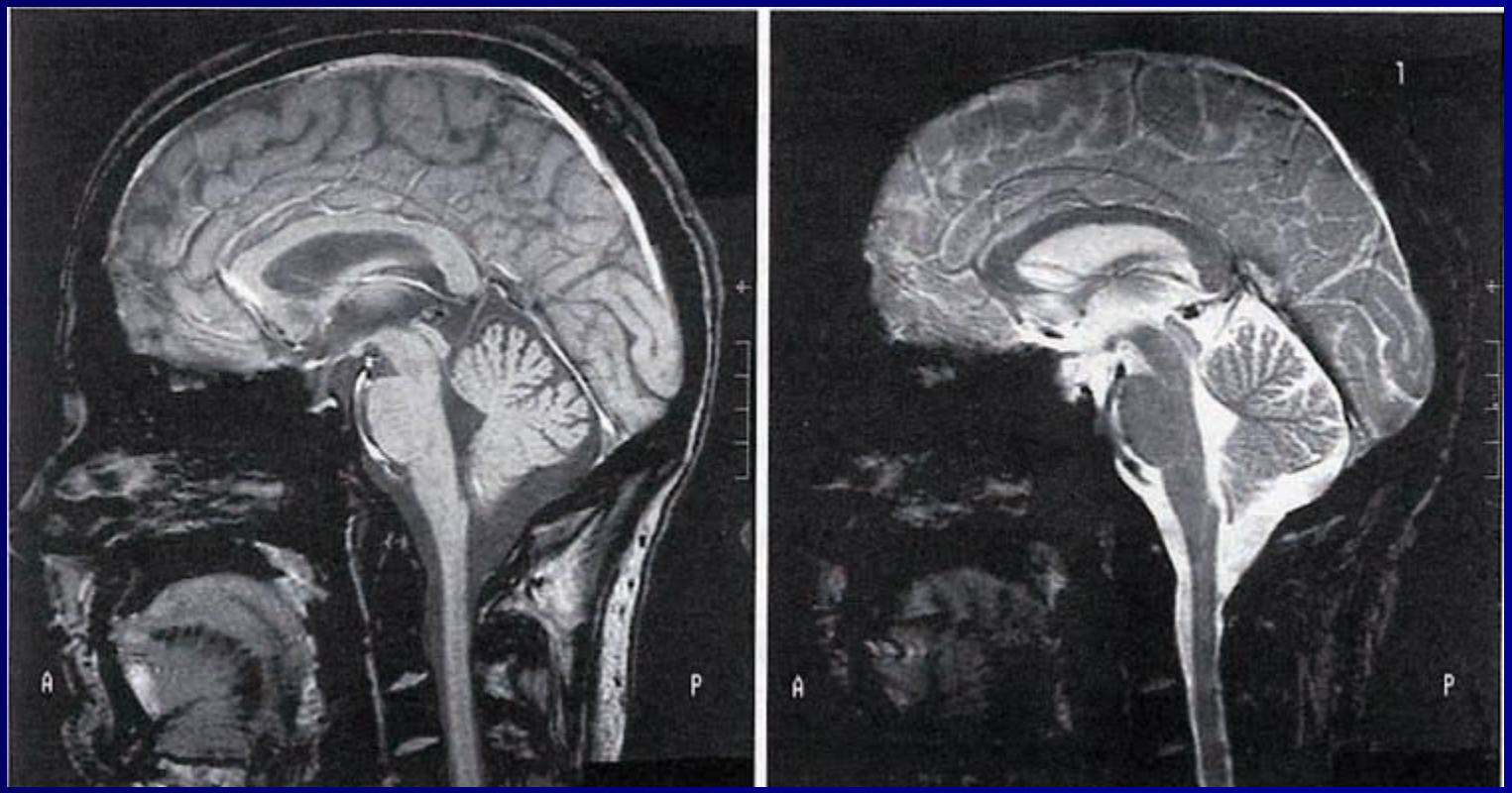
FLASH-последовательность. Эхо создается переключением градиента.

# Угол отклонения.

- В условиях, когда TR<<T1, наиболее эффективны импульсы с малыми углами отклонения, которые ведут к частичному насыщению системы, так как даже при сокращении TR<10 мс сохраняется возможность получения изображения с отношением сигнал/шум, достаточным для диагностики.

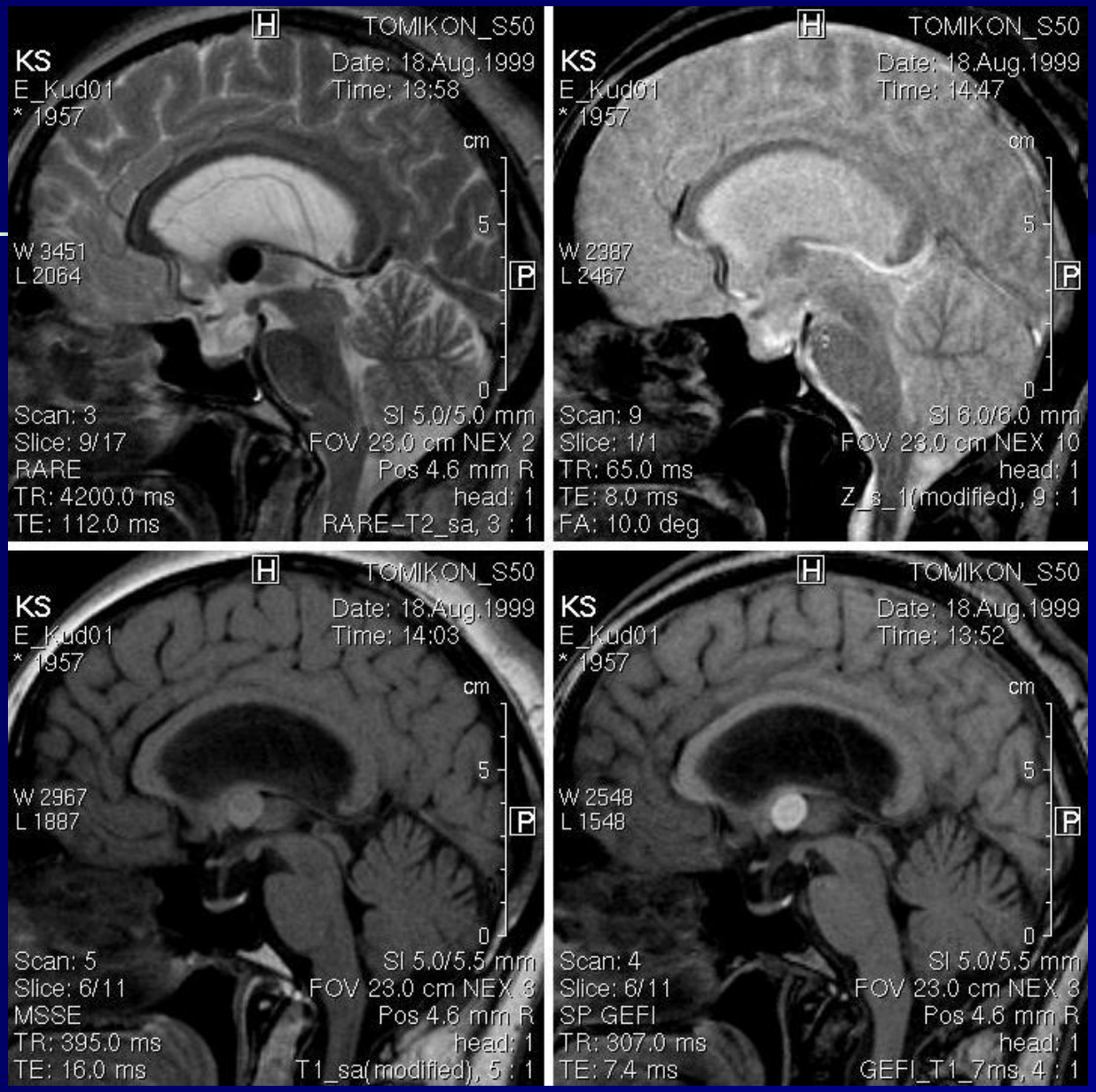


**Последовательность градиентных эхо-сигналов – серия томограмм мозга здорового человека. TR=300 мс, TE=19 мс, A=10$^0$, 20$^0$, 30$^0$, 40$^0$, 50$^0$, 60$^0$, 70$^0$, 80$^0$ (от левого верхнего снимка к нижнему правому).**
**С ростом угла отклонения томограммы становятся все более Т1-взвешенными.**

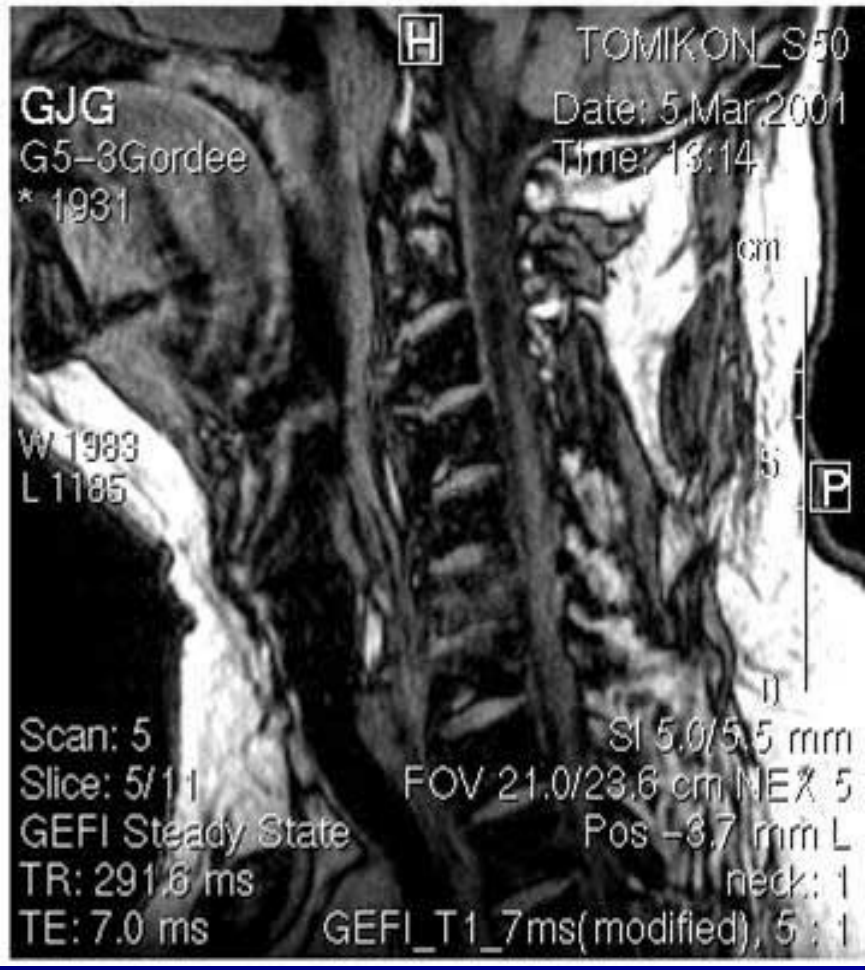



**GRE-сагиттальные томограммы мозга. Слева – промежуточное взвешивание с сильной Т1 – зависимостью. Справа – Т2*-взвешивание.**

**T2 – w, SE** **T2*- w, GRE**




**T1 – w, SE** **T1 – w, GRE**

**T2 – w, TSE**

**T1 – w, GRE**