Тази поредица представлява комбинация от **селективна инверсия (или „изгаряне на спектрална дупка“ / hole-burning)**, последвана от **измерване на T_1-релаксация и спиново ехо на Хан (Hahn echo)**.
Точният отговор след третия импулс зависи от ширината на спектъра (хомогенността на полето T_2^*), времената на релаксация (T_1, T_2) и относителните фази на импулсите. При стандартния случай на еднакви фази на импулсите (напр. всички по ос $+ x$) и наличие на резонансни и извънрезонансни спинове, физиката се развива така:

Еволюция стъпка по стъпка

1. **Импулс 1 (10 ms, слабо поле, 90°):**
   - Това е **селективен (мек) импулс** с честотна лента на възбуждане $\Delta\nu \approx \frac{1}{10ms} = 100Hz$ (амплитуда $\nu_1 = 25Hz$).
   - Само спиновете в този тесен прозорец около носещата честота ($\pm 50Hz$) се завъртат на 90° в напречната (xy) равнина (при условие че $T_2 > 10ms$).
   - Всички останали (извънрезонансни) спинове остават недокоснати по оста $+ z$.
2. **Импулс 2 (веднага след първия, 100 μs, силно поле, 90°):**
   - Това е **широколентов (твърд) импулс** ($\Delta\nu \approx 10kHz$), който действа еднакво на целия спектър:
     - **Резонансните спинове** (които току-що са влезли в xy-равнината) получават още 90°, т.е. сумарно $90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$ — те се **инвертират** по оста $- z$.
     - **Извънрезонансните спинове** (които са били по $+ z$) се завъртат на 90° в напречната (xy) равнина. *(Веднага след този импулс те излъчват FID, в чийто спектър липсва централната честота).*
3. **Пауза (20 ms):**
   - Напречната намагнитеност на извънрезонансните спинове прецесира и се разфазира заради нехомогенностите на полето с времеконстанта T_2^* (и необратимо с T_2).
     Инвертираната надлъжна намагнитеност ($- M_z$) на резонансните спинове релаксира обратно към равновесната стойност $+ M_0$ със скорост, определена от T_1:

     $$M_z(20ms) = M_0\left(1 - 2e^{-20ms/T_1}\right)$$

   -
4. **Импулс 3 (100 μs, силно поле, 90°):**
   - Завърта текущата надлъжна намагнитеност (M_z) в xy-равнината и едновременно с това префокусира половината от разфазираната напречна

намагнитеност.

Какъв сигнал ще видиш на детектора след 3-тия импулс?

Ако записваш сигнала след последния импулс, ще наблюдаваш **два отделни компонента** във времето:

- **1. Незабавен FID веднага след 3-тия импулс (от резонансните спинове):**
  - Това е теснолентов сигнал само от спиновете в прозореца от $\sim 100Hz$, които бяха селективно инвертирани.
  - Неговата амплитуда и фаза зависят директно от T_1:
    - Ако $T_1 \gg 20ms$ (напр. чиста течност): ще видиш **инвертиран FID** (с обърната на 180° фаза спрямо нормален 90° импулс).
    - Ако $T_1 \approx 28.9ms$ ($20ms = T_1 \ln 2$): сигналът от тези спинове е **нула** (точка на зануляване / null point).
    - Ако $T_1 \ll 20ms$: сигналът е с нормална (положителна) фаза.
- **2. Спиново ехо (Hahn echo) точно 20 ms след 3-тия импулс (от извънрезонансните спинове):**
  - Вторият и третият силен 90° импулс образуват класическа рефокусираща двойка $90^\circ - \tau - 90^\circ$ с $\tau = 20ms$.
  - Ако имаш нехомогенно уширение ($T_2^* < 20ms$, но $T_2 \gtrsim 20$ ms), **на 20-тата милисекунда след 3-тия импулс ще се появи спиново ехо**.
  - При Фурие-преобразуване на това ехо ще видиш широк спектър с **изгоряла спектрална дупка (hole-burning)** точно на честотата на първия (10-милисекундния) импулс.

Гранични случаи според пробата и фазата

- *Напълно хомогенна проба в резонанс ($\Delta\nu \ll 100Hz$, $T_2 \gg 20ms$):** Няма извънрезонансни спинове, нито разфазиране, затова **няма да има ехо на 20-тата милисекунда**. Ще видиш единствено FID веднага след 3-тия импулс с амплитуда $\propto (1 - 2e^{-20ms/T_1})$.
- **Много късо T_2 ($T_2 \ll 10ms$, напр. твърдо тяло):** Първият 10 ms импулс директно насища (унищожава) намагнитеността ($M \approx 0$), вторият импулс не прави нищо, а третият измерва възстановяването по T_1 след 20 ms — класическо **насищане-възстановяване (saturation recovery)** с амплитуда $\propto (1 - e^{-20ms/T_1})$.
- **Фазово изместване от 90° между 1-вия и 2-рия импулс (напр. 90°_x слаб + 90°_y силен):** Вторият импулс не инвертира резонансните спинове (тъй като тяхната намагнитеност вече лежи по оста y и е колинеарна с полето B_1 на втория импулс), а само завърта извънрезонансните по оста $+x$. В резултат и двете групи остават в

напречната равнина с 90° фазова разлика помежду си и формират ехо на 20-тата милисекунда, но с дефазиран централен пик.