ЛЕКЦИЯ 3. Магнитно – резонансная томография. Эндоскопические методы визуализации

доцент кафедры, к.ф.н. Завадский С.П.

Кафедра фармакологии
Института фармации

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова
(Сеченовский Университет)

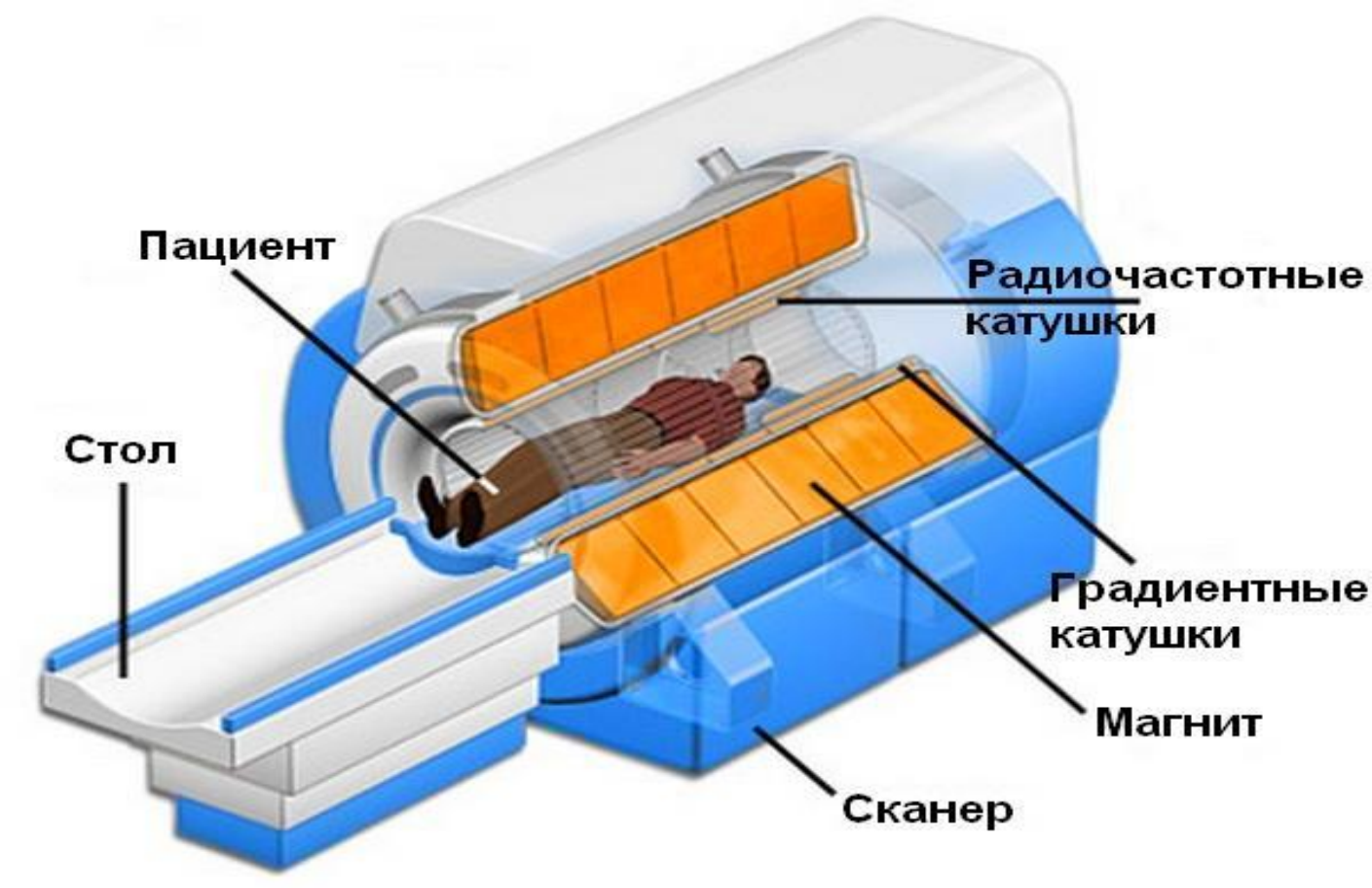
Москва, Россия

Магнитно-резонансная томография (МРТ) — способ получения томографических медицинских изображений для исследования внутренних органов и тканей с использованием явления ядерного магнитного резонанса. Способ основан на измерении электромагнитного отклика атомных ядер, чаще всего ядер атомов водорода, а именно, на возбуждении их определённым сочетанием электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряжённости.

https://p0.zoon.ru/3/f/57e0b08340c0887d3c8c22c8_5a774a5943d7b.jpg

1946	F. Bloch, E. Purcell Е. Завойский	феномен ядерного магнитного резонанса (Нобелевская премия по физике, 1952)
1972	G. Hounsfield, A. Cormack	Компьютерная томография (Нобелевская премия по физиологии и медицине, 1979)
1973	P. Lauterbur	Магнитно-резонансная томография (Нобелевская премия по физиологии и медицине, 2003)
1975	R. Ernst	кодирование МР сигнала (Нобелевская премия по химии,1991)
1981	первые клинические МР томографы для исследований всего тела (EMI, Philips)	
1982	первый МР томограф в СССР	
1988	Dumoulin	МР ангиография
1989	P. Mansfield	Эхо-планарная томография (Нобелевская премия по физиологии и медицине, 2003)

СХЕМА МР-ТОМОГРАФА



https://en.ppt-online.org/560116

Примеры МР-томографов

РЧ-катушки

Высокопольный томограф закрытого типа

Ложемент

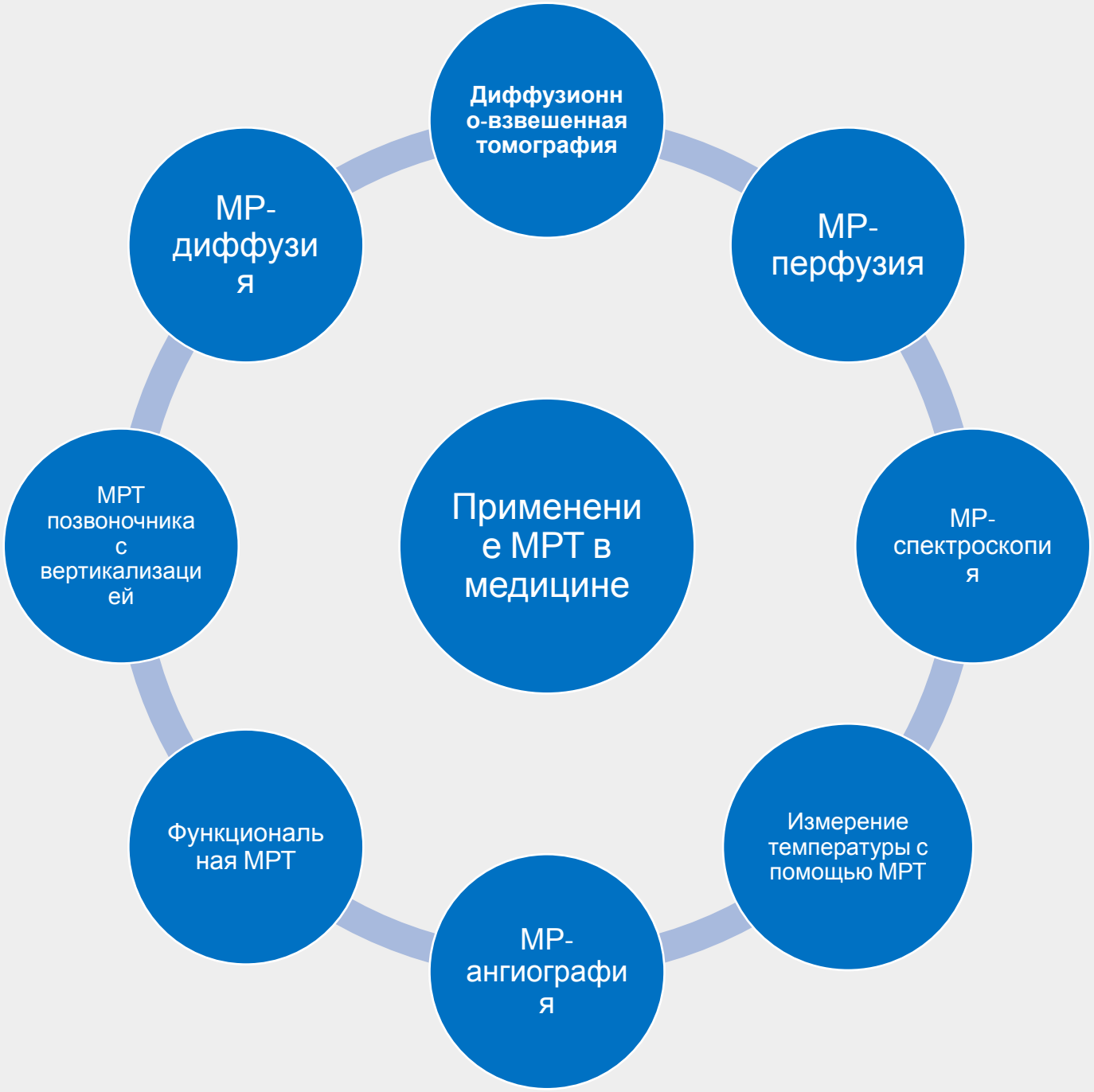
Магнит

РЧ-катушки

Низкопольный томограф открытого типа

https://ppt-online.org/155827

- Магнитно-резонансная томография является одним из современных методов лучевой диагностики, позволяющим неинвазивно получать изображения внутренних структур тела человека.
- Важнейшим преимуществом МРТ по сравнению с другими методами лучевой диагностики является отсутствие ионизирующего излучения и, как следствие, эффектов канцеро- и мутагенеза, с риском возникновения которых сопряжено воздействие рентгеновского излучения.
- Устаревшее название метода «ядерно-магнитно резонансная томография» (ЯМРТ) в настоящее время не используется, чтобы избежать неправильных ассоциаций с ионизирующим излучением.
- МРТ является единственным методом неинвазивной диагностики, обладающим высокой чувствительностью и специфичностью при выявлении отека и инфильтрации костной ткани.
- Развитие МР-спектроскопии и диффузионной МРТ, а также создание новых органотропных контрастных препаратов является основой развития «молекулярной визуализации» и позволяет проводить гистохимические исследовании in vivo.


Применение МРТ в медицине
Диффузионно-взвешенная томография
МР-перфузия
МР-спектроскопия
Измерение температуры с помощью МРТ
МР-ангиография
Функциональная МРТ
МРТ позвоночника с вертикализацией
МР-диффузия

Достоинства МРТ

- Неинвазивность
- Отсутствие ионизирующего излучения
- Трехмерный характер получения изображений
- Высокий мягкотканый контраст
- Естественный контраст от движущейся крови
- Высокая диагностическая эффективность

МР-спектроскопия

- Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС) — метод, позволяющий определить биохимические изменения тканей при различных заболеваниях по концентрации определённых метаболитов

- МР-спектры отражают относительное содержание биологически активных веществ в определённом участке ткани, что характеризует процессы метаболизма

- Нарушения метаболизма возникают, как правило, до клинических проявлений заболевания, поэтому на основе данных МР-спектроскопии можно диагностировать заболевания на более ранних этапах развития

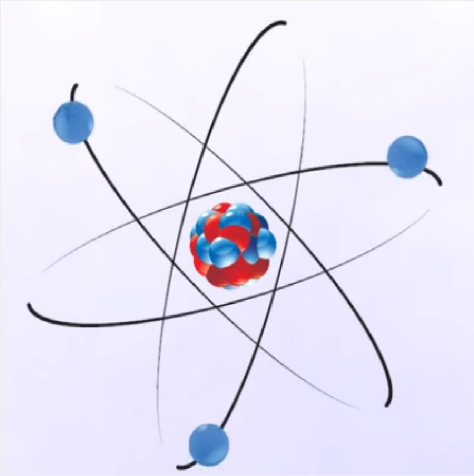
ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП МРТ

- В основе МРТ лежит феномен ядерно-магнитного резонанса, открытый в 1946 году физиками Ф.Блохом и Э.Перселлом (Нобелевская премия по физике, 1952 г.)

- Ядерный магнитный резонанс – избирательное поглощение электромагнитных волн определенной частоты веществом в постоянном магнитном поле, обусловленное переориентацией магнитных моментов ядер

- Суть феномена ядерно-магнитного резонанса состоит в способности ядер некоторых элементов [H,C,O,P], находясь под воздействием статического магнитного поля, принимать энергию радиочастотного импульса и переходить на более высокий энергетический уровень. При переходе на нижний энергетический уровень ядра выделяют полученную энергию – МР-сигнал

Спектроскопия ЯМР основана на магнитных свойствах ядер, имеющих спиновое квантовое число I, отличное от нуля.
Не обладают магнитным моментом ядра с <u>четным числом</u> протонов и нейтронов (^{12}C, ^{16}O, ^{32}S и др)
Ядра с <u>нечетным числом</u> обладают магнитным моментом (^{1}H, ^{13}C ^{15}N, ^{31}P и др.)



Спектроскопия протонного магнитного резонанса (ПМР) с использованием ядер ^{1}H (протонов)

Ядро атома водорода состоит из одного протона. Этот протон вращается вокруг своей оси и представляет собой магнит

https://en.ppt-online.org/110360

- ЯМР (MP) спектроскопия основан на простых принципах. Ядра некоторых атомов действуют как магниты, которые в отсутствии магнитного поля ориентированы случайным образом

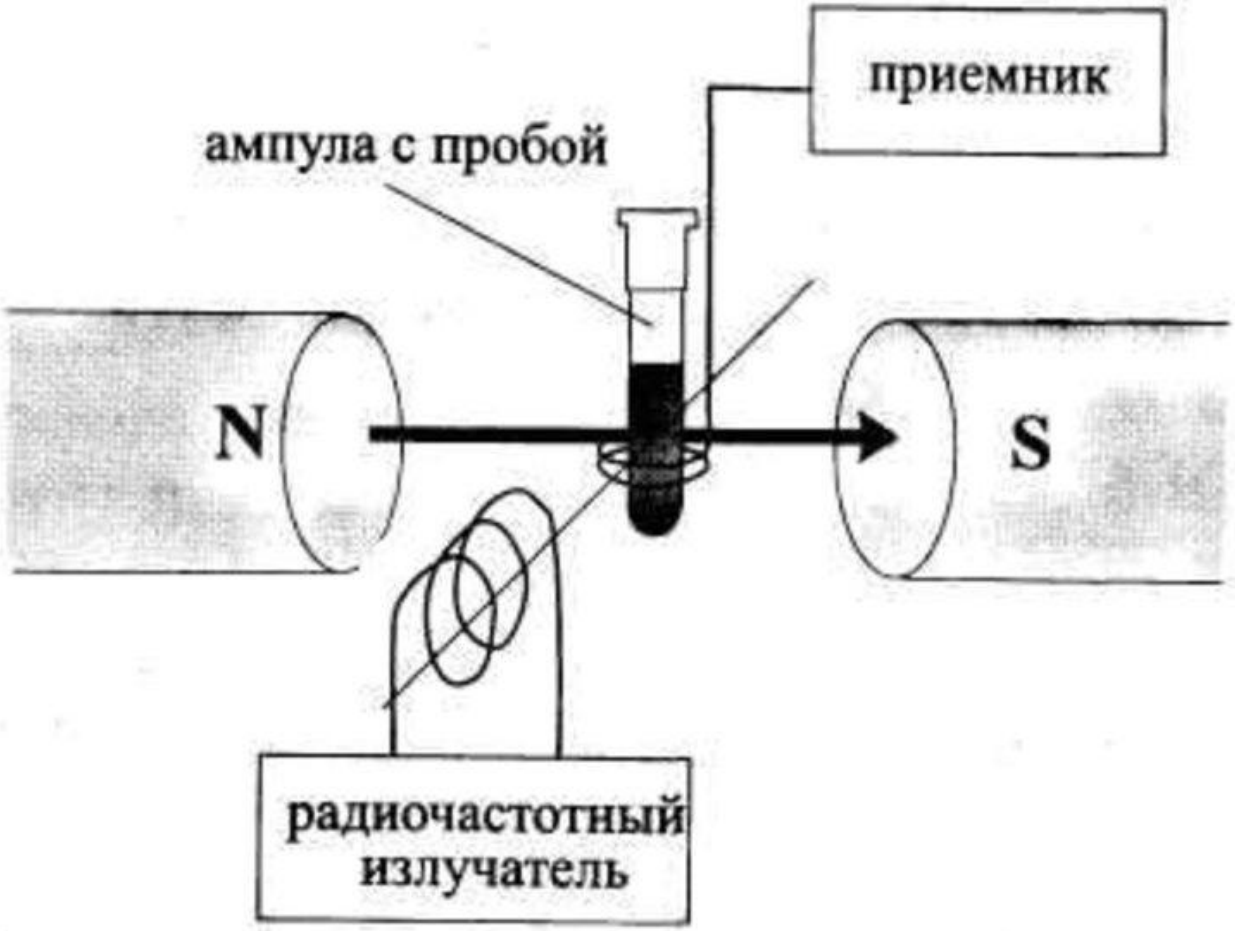
- Ядра этих атомов в магнитном поле поворачиваются в направлении магнитного поля или против него

- В ЯМР спектроскопии помещают образец одновременно в два магнитных поля – одно постоянное, а другое – радиочастотное. Исследуемое вещество помещают в датчик спектрометра между полюсами магнита

- Образец подвергают воздействию электромагнитного излучения, частоту которого можно менять , так что ядра возбуждаются, когда накладываются соответствующие резонансные частоты

- ЯМР - спектр получают при наложении двух магнитных полей: постоянного и переменного

Схема устройства ЯМР-спектрометра

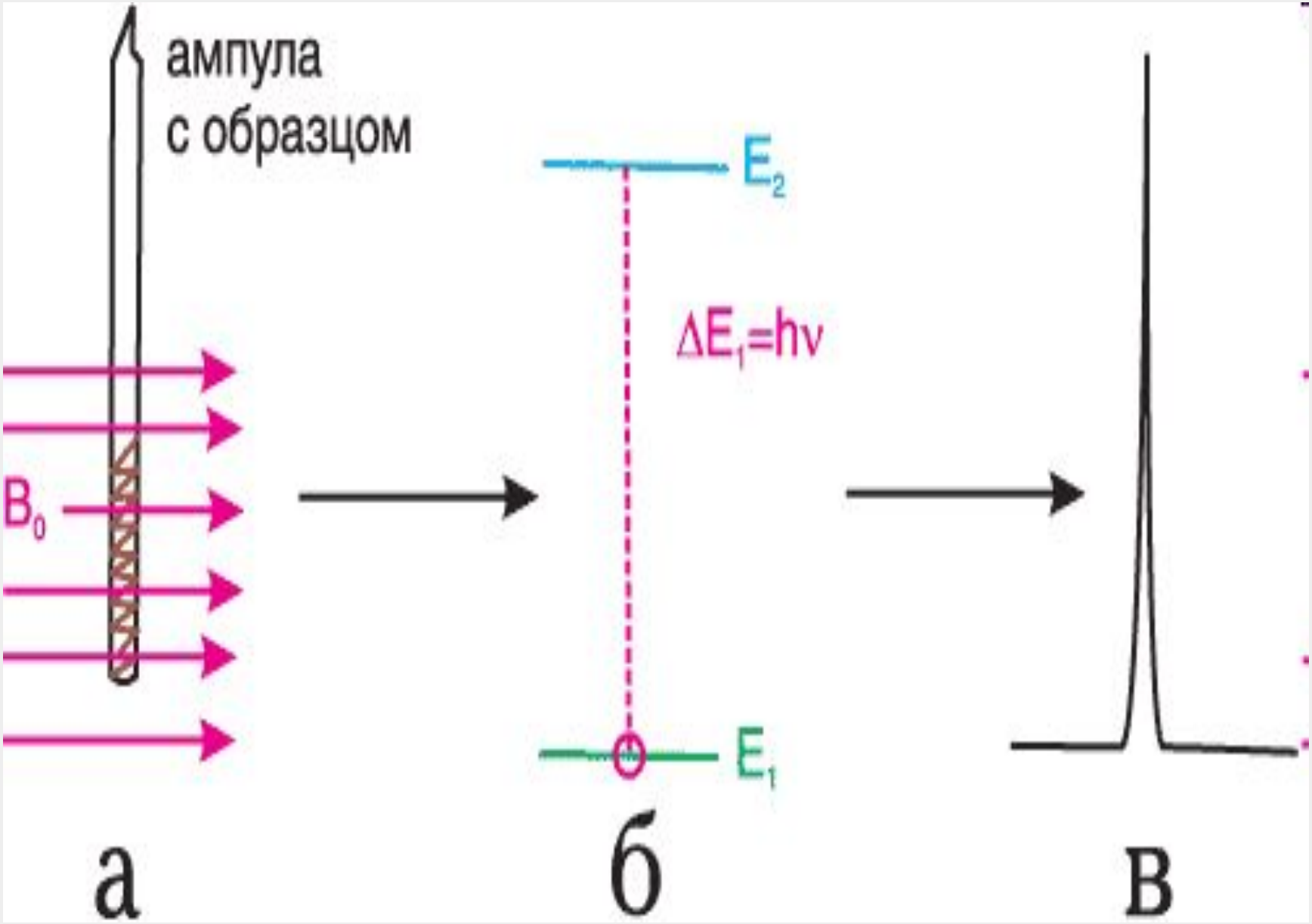


- В качестве источника возбуждающего излучения используется радиочастотный генератор, или передатчик, а поглощение ядрами энергии передатчика можно зарегистрировать с помощью радиочастотного моста

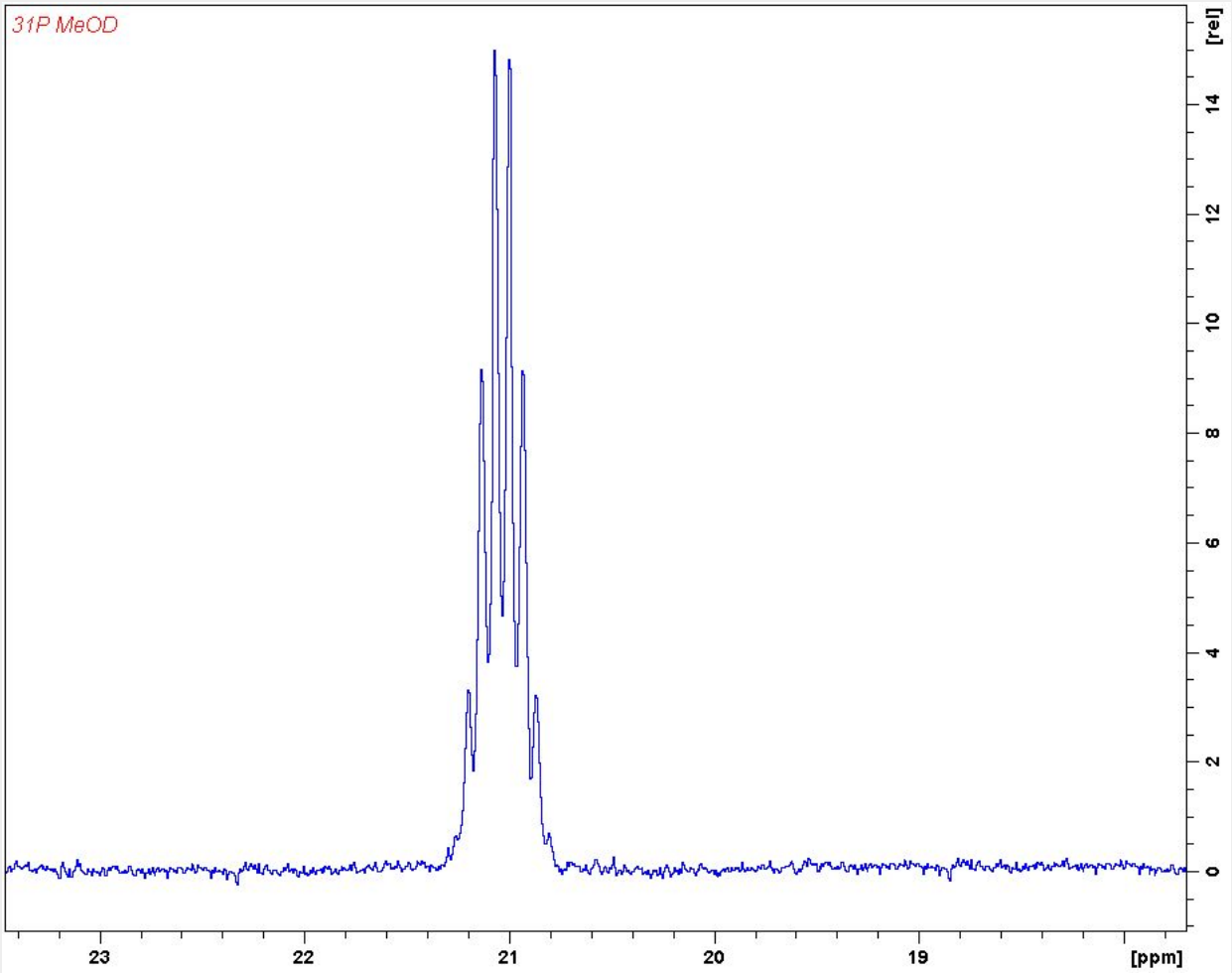
- При определенном сочетании полей образец поглощает энергию, что приводит к получению ЯМР- сигнала на выходе высокочастотного усилителя. Сигнал, выделенный мостом, усиливается и записывается самописцем

- С помощью высокочастотного электромагнитного излучения можно вызвать переходы между собственными состояниями на диаграмме энергетических уровней

- При переходе с нижнего уровня на верхний происходит поглощение энергии. Поглощение энергии можно обнаружить, усилить и записать как спектральную линию, или так называемый резонансный сигнал


ампула
с образцом
B_0
E_2
$\Delta E_1 = h\nu$
E_1
а
б
в

Зависимость поглощенной энергии от частоты и представляет собой ЯМР-спектр



http://dislib.ru/images2/8803/img60.png

Применение МР-спектроскопии в визуализации опухолевого метаболизма

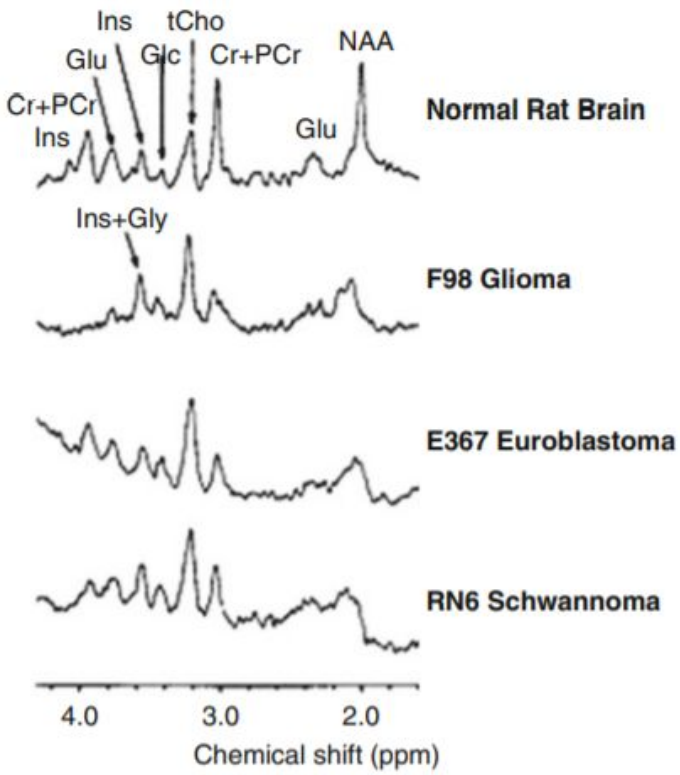
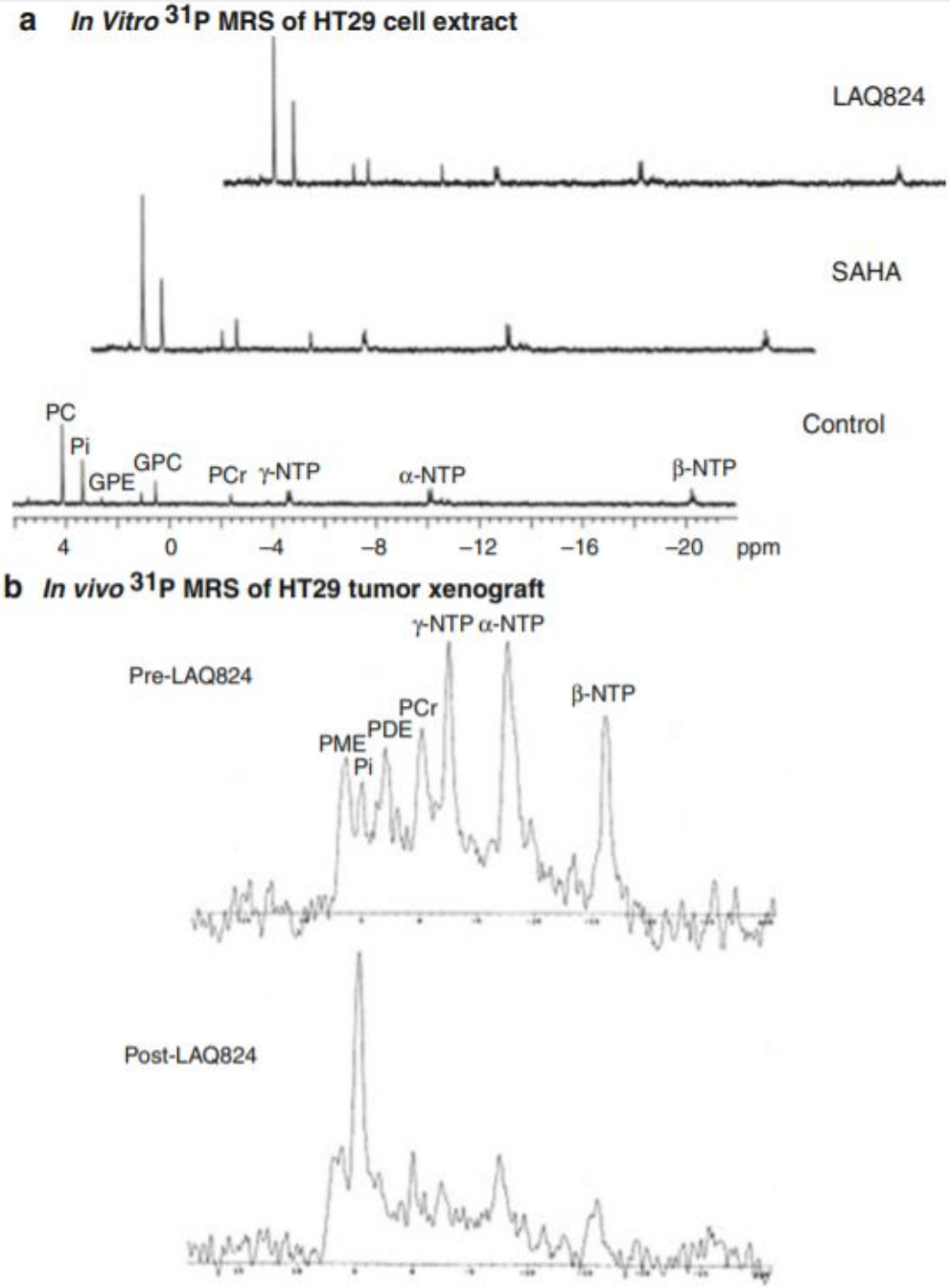


Fig. 8.4 ^{1}H MRS detecting *N*-acetylaspartate (*NAA*), creatine (*Cr*), and phosphocreatine (*PCr*). F98 gliomas, E367 neuroblastomas, and RN6 schwannomas in rat brain show an absence of NAA signal and a loss of total creatine, resulting from the destruction or displacement of neuronal tissue by the tumor (Adapted with permission from Gyngell et al. [149])

DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40412-2. Functional imaging in oncology. Vol. 1. Editors: Antonio Luna Joan C. Vilanova L. Celso Hygino da Cruz Jr. Santiago E. Rossi. ISBN 978-3-642-40412-2 (eBook). Springer Heidelberg New York Dordrecht London. 2014. 549 p.

Fig. 8.7 Inhibition of HDAC by LAQ824 or SAHA is associated with changes in choline phospholipid metabolism. (**a**) In vitro ^{31}P MRS of an HT29 cell extract treated with vehicle (*bottom panel*), 34 μM SAHA (*middle panel*), and 350 nM LAQ824 (*top panel*) for 24 h. Peak assignments: phosphocholine (*PC*), glycerophosphocholine (*GPC*), glycerophosphoethanolamine (*GPE*), inorganic phosphate (*Pi*), phosphocreatine (*PCr*), and nucleoside triphosphates (*α-*, *β-*, *λ-NTP*). (**b**) In vivo ^{31}P MR spectra of a HT29 tumor before (*top panel*) and after (*bottom panel*) LAQ824 treatment (25 mg/kg i.p. for 2 days) are shown. Peak assignments: phosphomonoesters (*PME*), phosphodiesters (*PDE*), inorganic phosphate (*Pi*), phosphocreatine (*PCr*), and nucleoside triphosphates (*α-*, *β-*, *λ-NTP*) (Adapted with kind permission from Chung et al. [220])



DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40412-2. Functional imaging in oncology. Vol. 1. Editors: Antonio Luna Joan C. Vilanova L. Celso Hygino da Cruz Jr. Santiago E. Rossi. ISBN 978-3-642-40412-2 (eBook). Springer Heidelberg New York Dordrecht London. 2014. 549 p.

Анализ, расшифровка и интерпретация Н ЯМР спектров

Пики на картинке спектра ПМР – это сигналы поглощения энергии внешнего прикладываемого магнитного поля протонами вещества

В пределе спектр ЯМР каждого соединения может содержать столько разных сигналов, сколько в нем типов неэквивалентных магнитных ядер

Число групп сигналов говорит о том, сколько протонов разных видов в молекуле. Химически эквивалентные протоны (с одинаковым окружением) поглощают энергию в одной области спектра

Число групп сигналов говорит о том, сколько протонов разных видов в молекуле. Химически эквивалентные протоны (с одинаковым окружением) поглощают энергию в одной области спектра.

Химическим сдвигом (d) называют смещение сигнала спектра на шкале в зависимости от химического окружения протона. Электроноакцепторные атомы и группы атомов вблизи поглощающего протона (через одну-две химические связи) сдвигают поглощение в область слабого поля (большие значения d).

В качестве эталона, относительно которого измеряют химические сдвиги, используют тетраметилсилан $(CH_3)_4Si$ (ТМС). Сигналы ПМР исследуемого вещества в спектре проявляются слева от сигнала ТМС.

Значения химических сдвигов выражают в специальных единицах – миллионных долях (м. д.). На шкале химических сдвигов, или d-шкале, место положения сигнала ТМС принимают за 0 м. д. и обозначают его в правой части шкалы

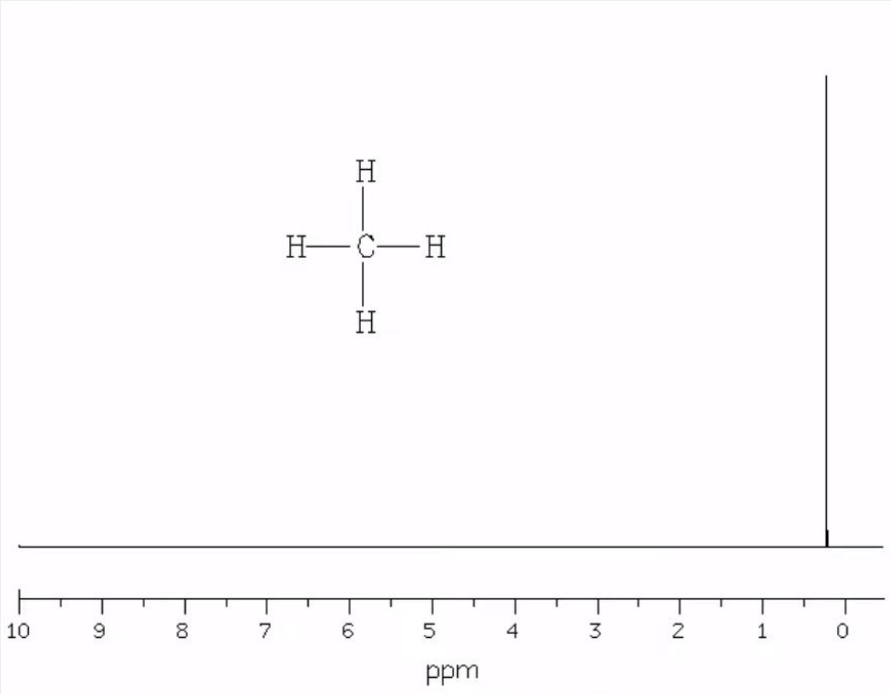
Относительно большим значениям величины d соответствует область слабого магнитного поля, и наоборот, малым значениям этой величины – область сильного магнитного поля.

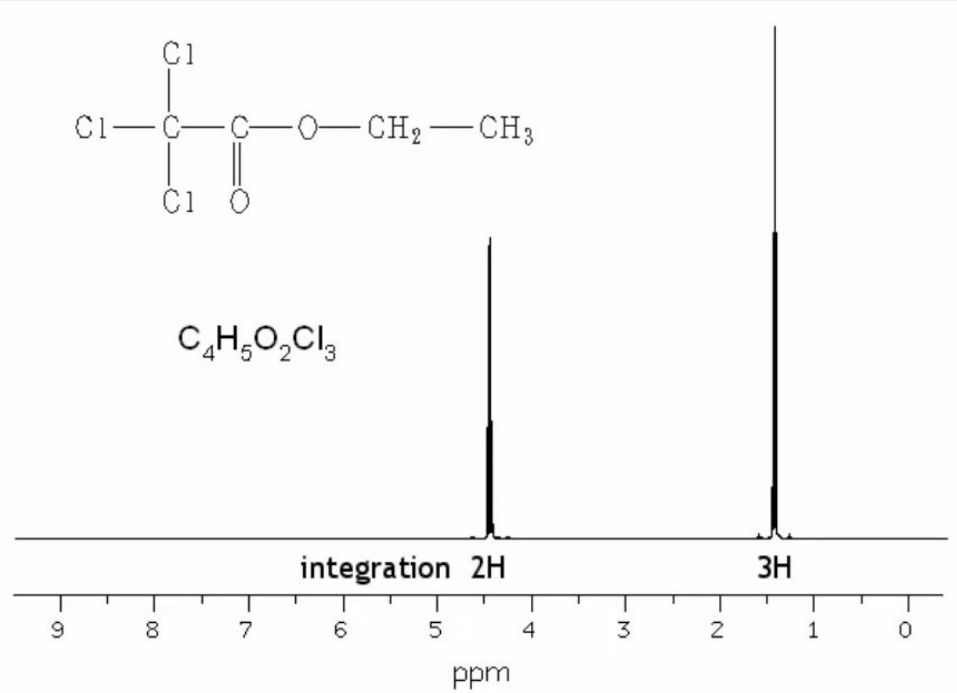
Площадь пика сигнала (очерченная самописцем) – интенсивность сигнала – показывает относительное содержание протонов каждого вида в молекуле.

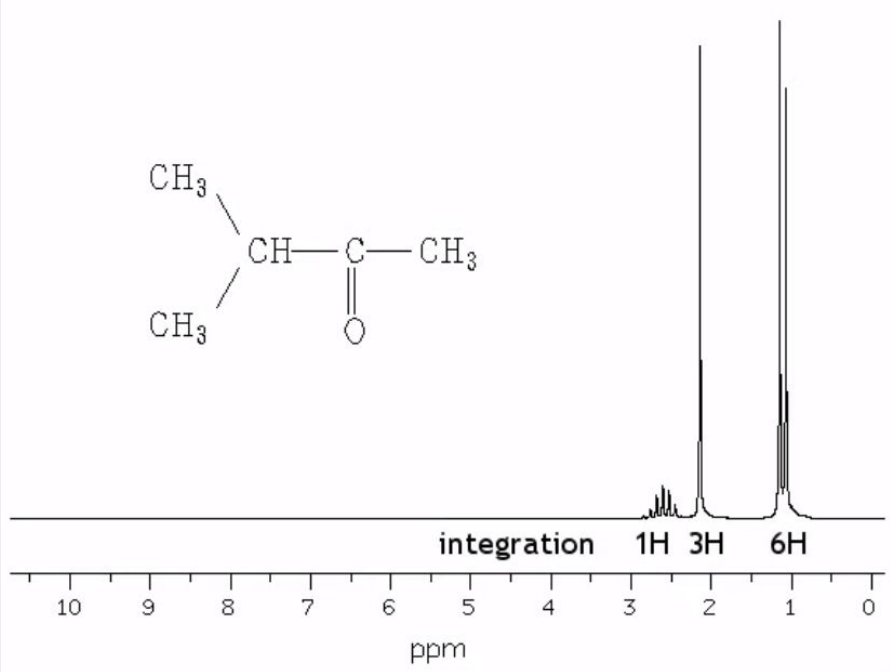
Расщепление сигнала на несколько пиков свидетельствует о взаимодействии рассматриваемого протона с другими неэквивалентными протонами (с разным окружением) или некоторыми другими ядрами с нечетными массовыми числами (^{19}F, ^{31}P и др.)

Часто в спектрах ПМР сигнал от эквивалентных протонов проявляется не отдельным пиком (синглет), а их набором. Сигнал может расщепляться на два (дублет), три (триплет), четыре (квартет) и большее число пиков. Подобное расщепление сигналов обусловлено взаимодействием неэквивалентных ядер водорода (протонов). Это спин-спиновое взаимодействие, которое осуществляется через электроны химических связей, соединяющих ядра атомов.

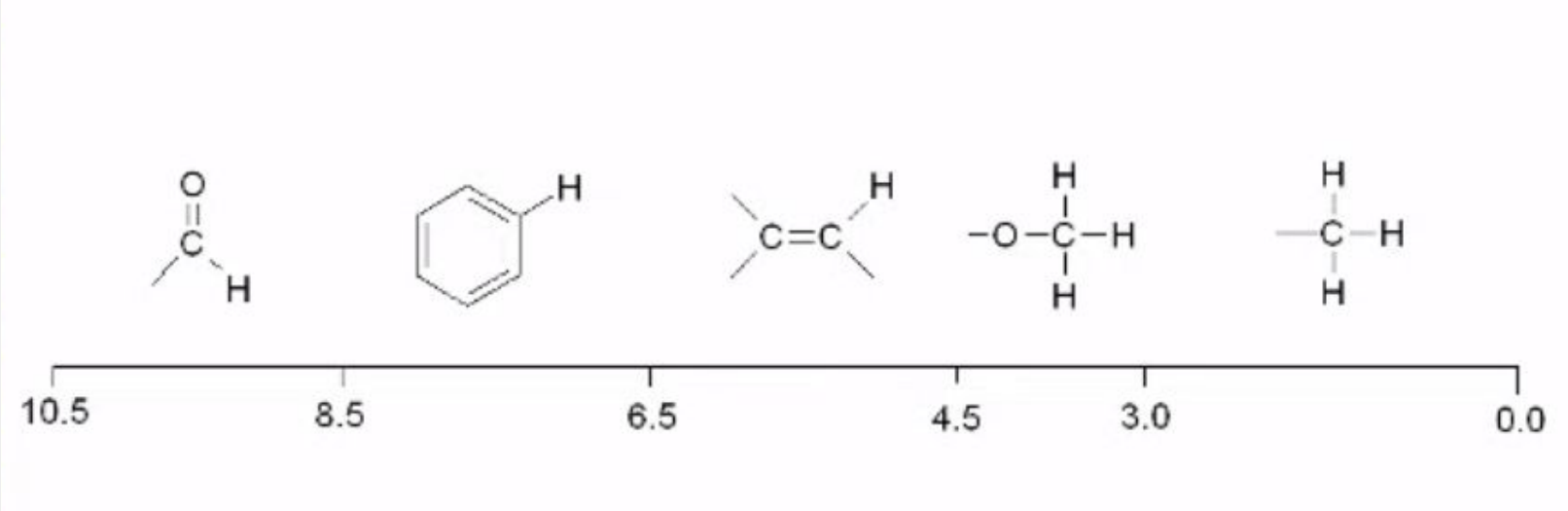
Число пиков, на которые расщепляется сигнал от эквивалентных протонов, называют мультиплетностью. В простых случаях пользуются правилом: мультиплетность сигнала от эквивалентных протонов равна n + 1, где n – число протонов, находящихся при соседних атомах углерода. Такие протоны вида H–C–C–H, разделенные тремя связями, называют вицинальными протонами. По мультиплетности сигнала можно судить о числе протонов, вицинальных по отношению к протонам, ответственным за конкретный сигнал.

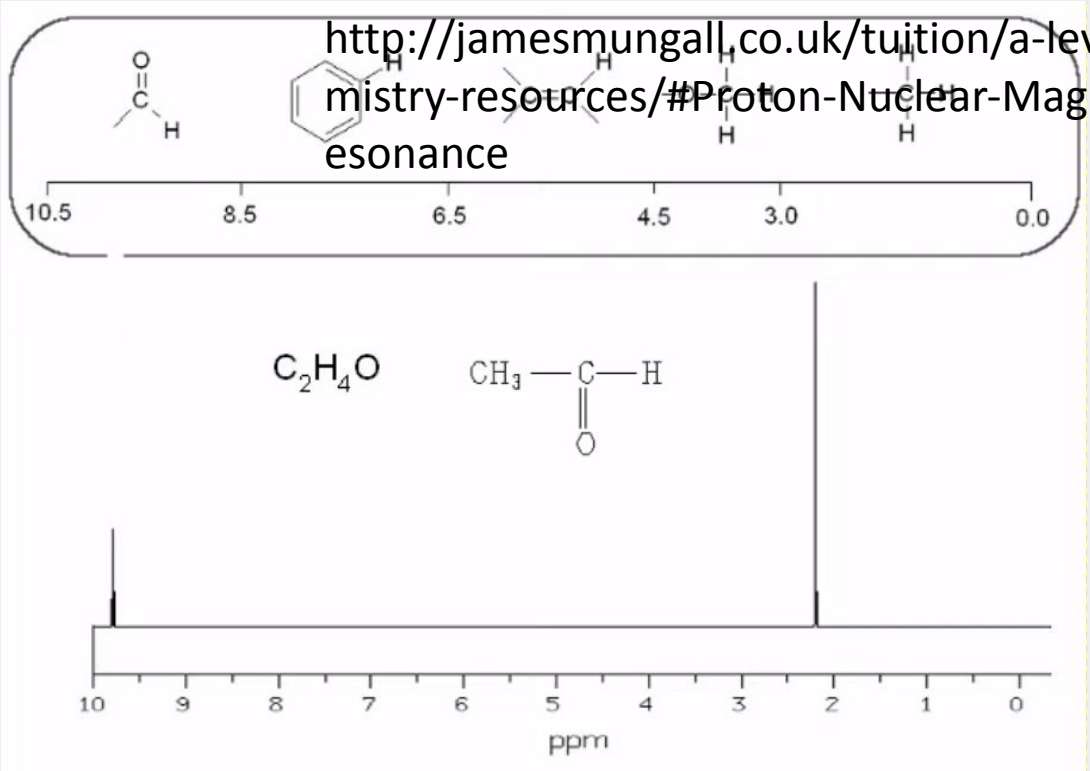


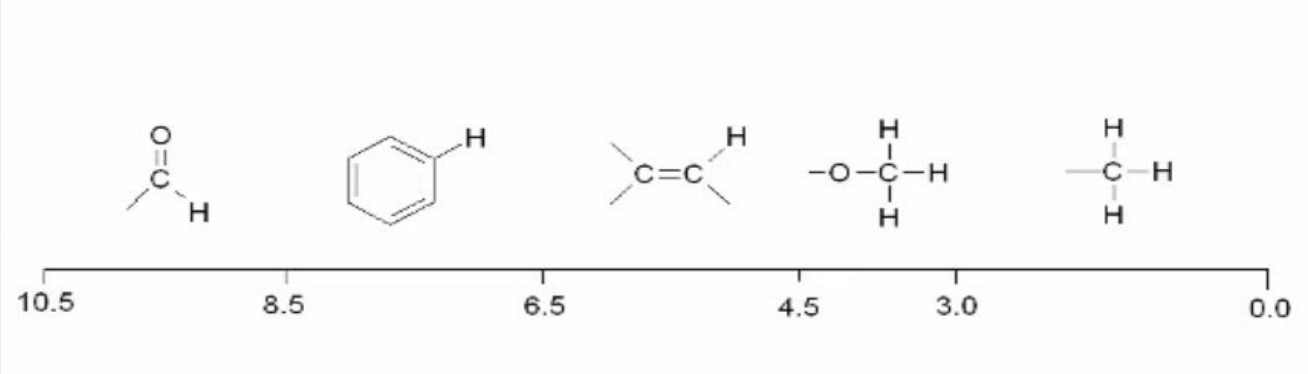




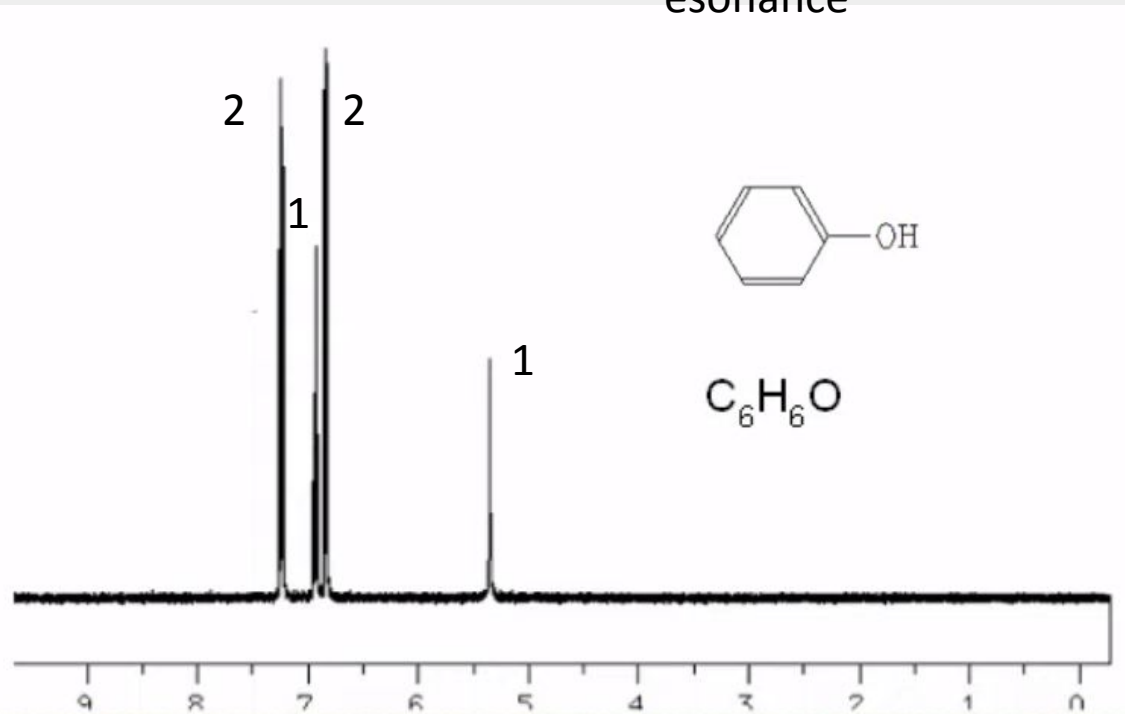
http://jamesmungall.co.uk/tuition/a-level-chemistry-resources/#Proton-Nuclear-Magnetic-Resonance

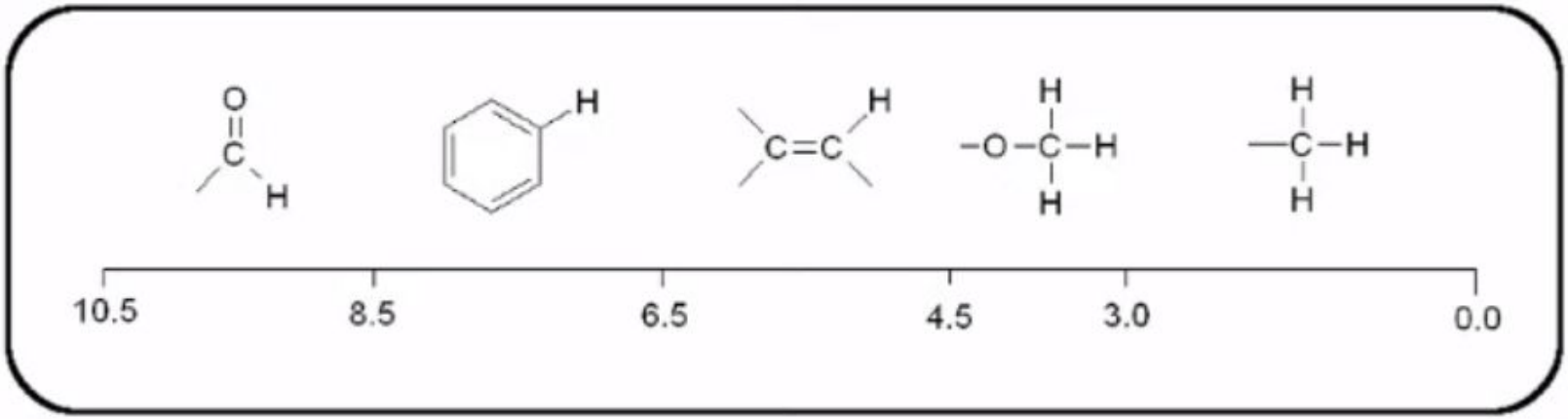

10.5
8.5
6.5
4.5
3.0
0.0


http://jamesmungall.co.uk/tuition/a-level-chemistry-resources/#Proton-Nuclear-Magnetic-Resonance
10.5
8.5
6.5
4.5
3.0
0.0
C_2H_4O
$CH_3—C(=O)—H$
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
ppm

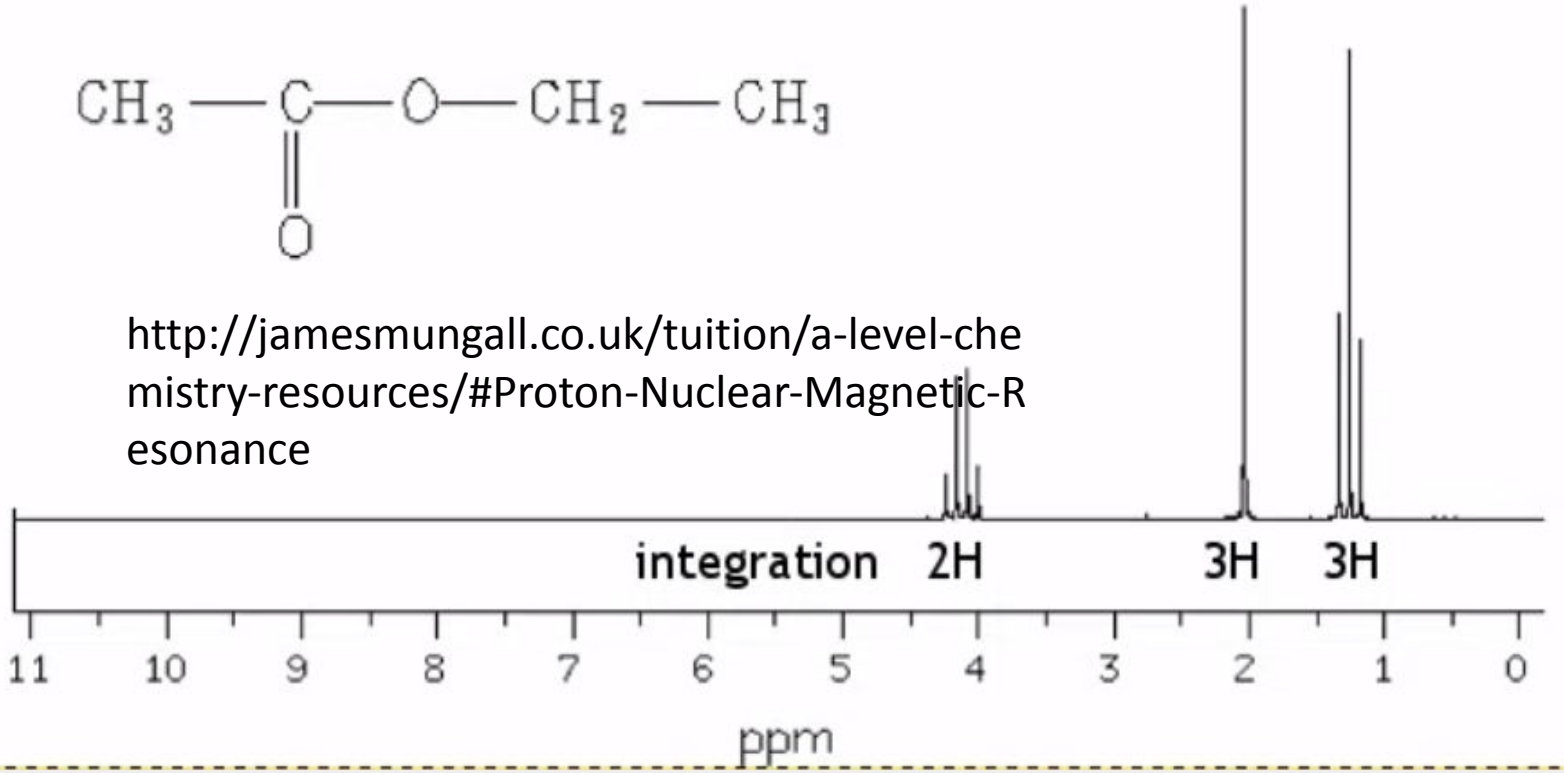


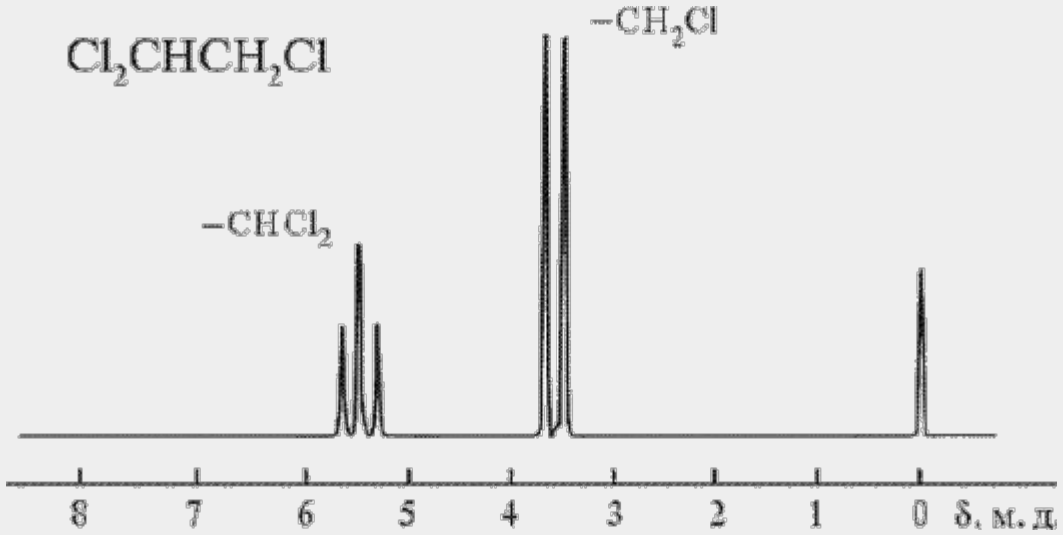
http://jamesmungall.co.uk/tuition/a-level-chemistry-resources/#Proton-Nuclear-Magnetic-Resonance



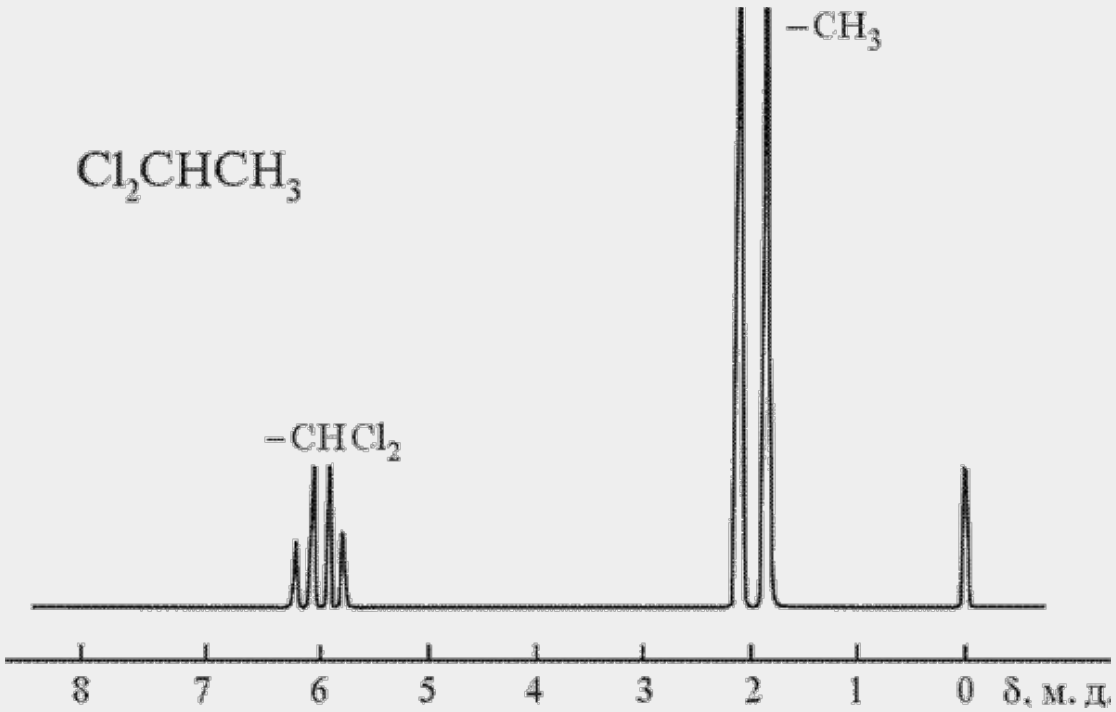


http://jamesmungall.co.uk/tuition/a-level-chemistry-resources/#Proton-Nuclear-Magnetic-Resonance

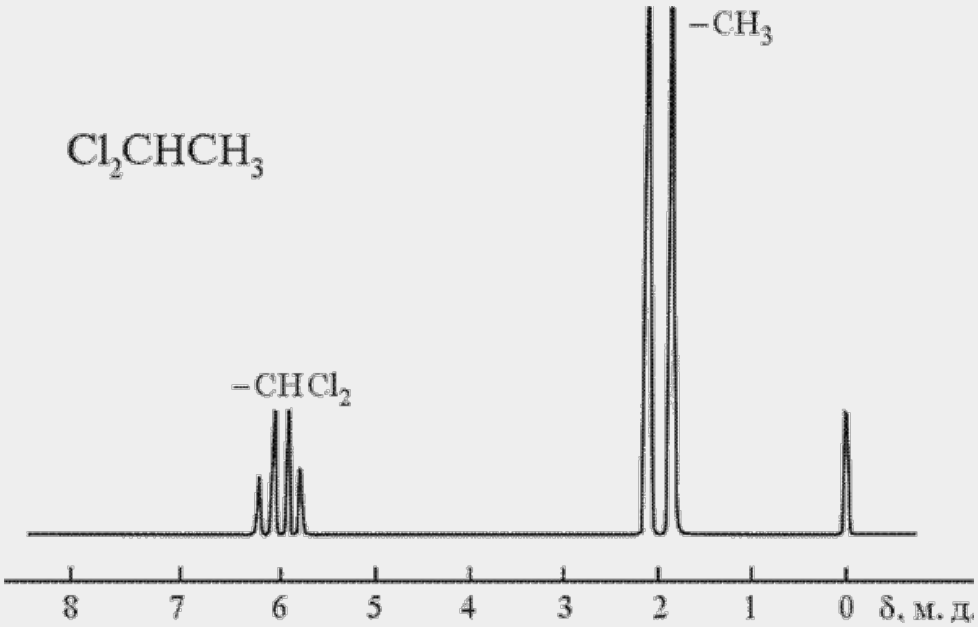




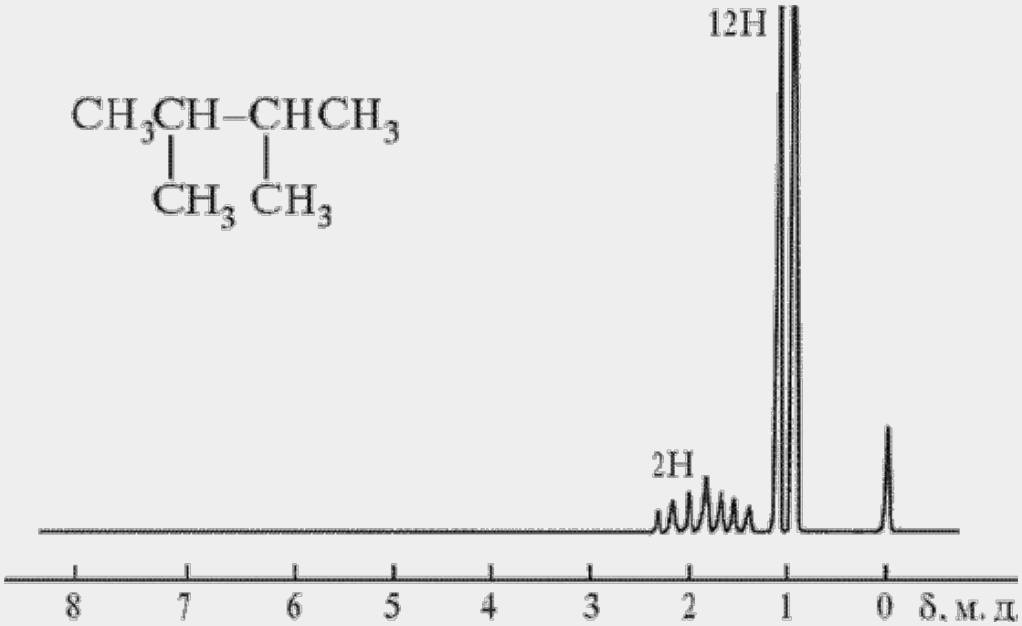
https://him.1sept.ru/2002/14/no14_05.gif



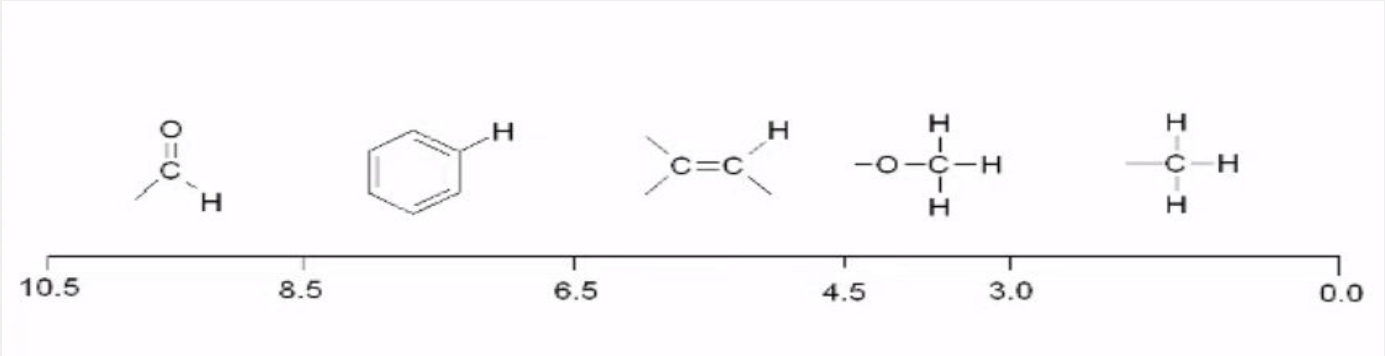
https://him.1sept.ru/2002/14/no14_06.gif



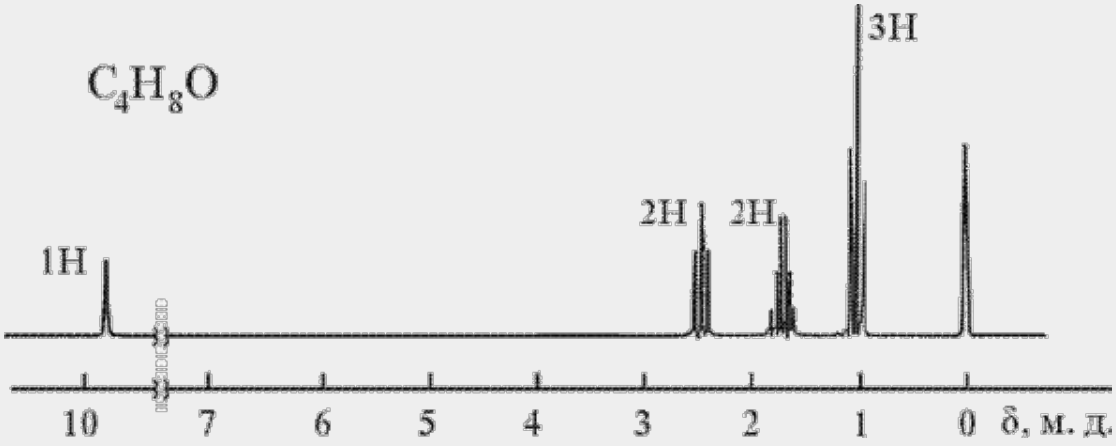
https://him.1sept.ru/2002/14/no14_06.gif



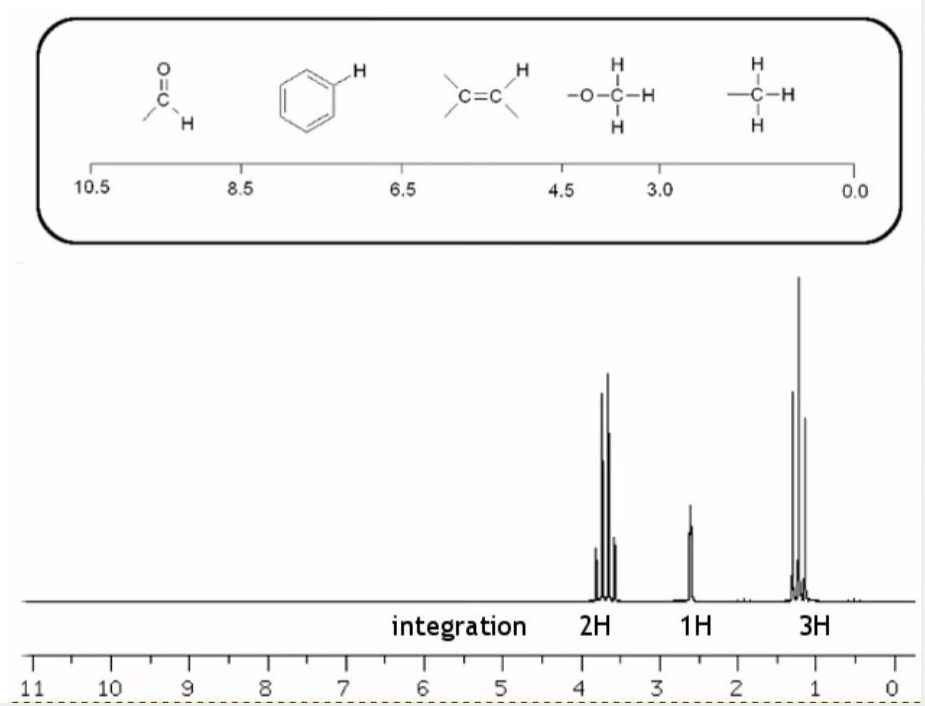
https://him.1sept.ru/2002/14/no14_07.gif



?



https://him.1sept.ru/2002/14/no14_20.gif



http://jamesmungall.co.uk/tuition/a-level-chemistry-resources/#Proton-Nuclear-Magnetic-Resonance