



Математические основы методов анализа результатов физического эксперимента

1. Введение. Цифровые технологии и общие
принципы анализа сигналов и изображений в
естественных науках.

Информация. Сообщение. Сигнал.

Информация. Сообщение. Сигнал.

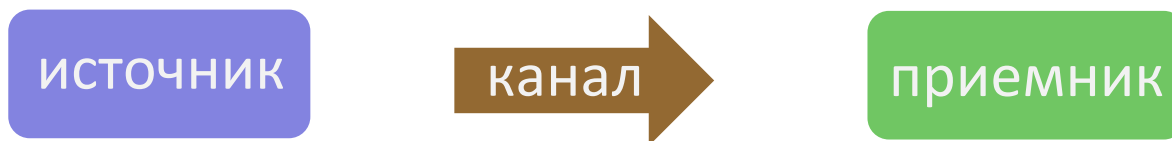
Цель любого физического эксперимента – получение новой **информации** (сведений, знаний) об изучаемом объекте, процессе или явлении.

Существует **источник информации**, способный изменять во времени или пространстве свое состояние.

Информация – нематериальная категория, но ее можно *обрабатывать* (преобразовывать), *хранить* и *перемещать* (передавать).

Информация. Сообщение. Сигнал.

Информация не существует без обмена ей.



В процессе приема-передачи информация может изменяться:

- помехи и шум (*случайные* изменения)
- обработка (*детерминированные* изменения)

Информация. Сообщение. Сигнал.

Информация не существует без обмена ей.



Связь – процесс перемещения информации.
Это *направленный* процесс: от источника к приемнику.

Сообщение – сведения о состоянии источника информации, выраженное в определенной форме и предназначенное для передачи.
Тоже *нематериальная* сущность.

Информация. Сообщение. Сигнал.

Сигнал — материальное воплощение сообщения для использования при передаче, переработке и хранении информации (*Советская энциклопедия*)

Сигнал (физический) — изменение физической величины, несущее информацию, кодированную определённым способом.

Одно и то же сообщение может быть реализовано в виде различных сигналов.

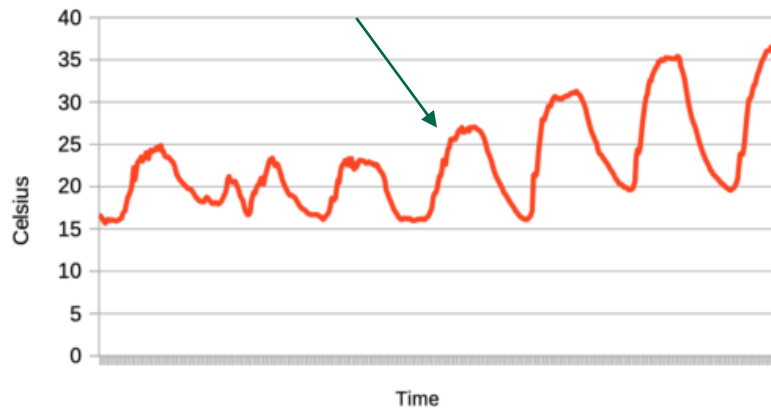


W. Frith, *The Signal*, 1858

Информация. Сообщение. Сигнал.

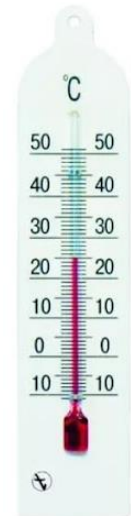
Пример.

Информация: температура воздуха в помещении



25 °C

«ПЛЮС ДВАДЦАТЬ ПЯТЬ»



Информация. Сообщение. Сигнал.

Сигнал является материальным носителем информации (об изменении какого-либо *физического явления*):

- погода → температура
- звуковая волна → давление
- звуковая волна → магнитное поле
- интенсивность света → градации серого
- ...

Сигналы, зарегистрированные на материальном носителе, называются **данными**.

Информация. Сообщение. Сигнал.

Обработка сигналов:

- ***Анализ***

Понимание передаваемой сигналом информации

- ***Синтез***

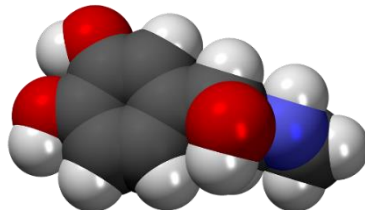
Создание сигнала, несущего заданную информацию о явлении

Передача сигналов

Два основных принципа передачи информации:

1) *Вещественно-предметный* (медленный)

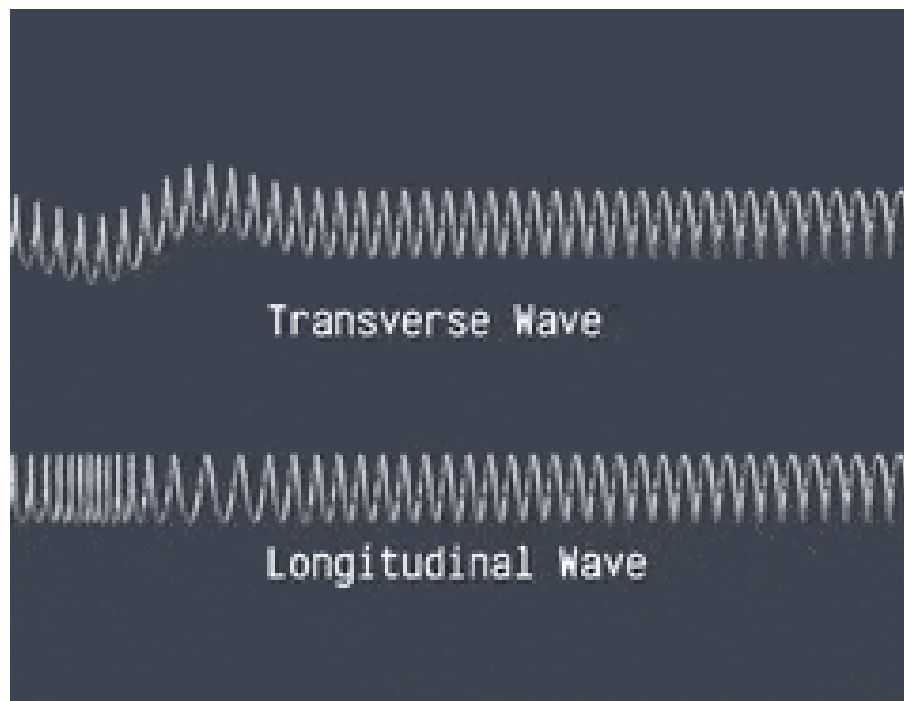
почта,
книги, USB накопители,
эндокринная и иммунная системы,
обоняние,
наличные деньги,
...



Передача сигналов

Два основных принципа передачи информации:

2) *Энергетический* (быстрый)



Передача сигналов

Два основных принципа передачи информации:

2) Энергетический (быстрый)

сигнальные костры,
тамтамы,
электросвязь (проводная, волоконно-
оптическая, радиосвязь),
акустика,
...



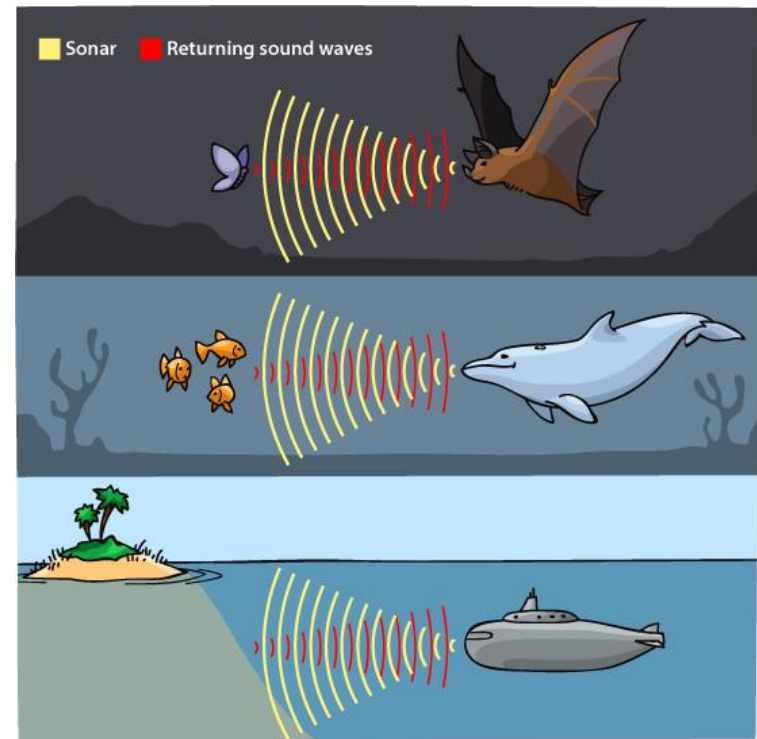
древнегреческий водяной телеграф

Передача сигналов

Два основных принципа передачи информации:

2) Энергетический (быстрый)

сигнальные костры,
тамтамы,
электросвязь (проводная, волокно-
оптическая, радиосвязь),
акустика,
...



Передача сигналов

2) Энергетический (быстрый)

Э/м волны

- поперечные
- излучаются ускоренно движущимися заряженными частицами
- максимальная скорость – в вакууме
- скорость в воздухе (н.у.) ~ 3×10^8 м/с

Звуковые волны

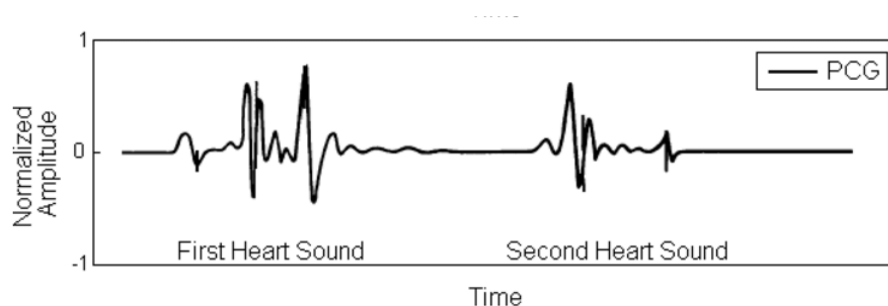
- продольные
- распространяются как упругие волны механических колебаний
- не распространяются в вакууме
- скорость в воздухе (н.у.) ~ 340 м/с

Сигналы в естественных науках

Размерность сигналов

■ 1D

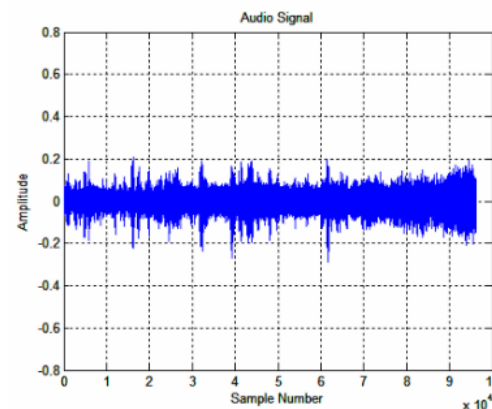
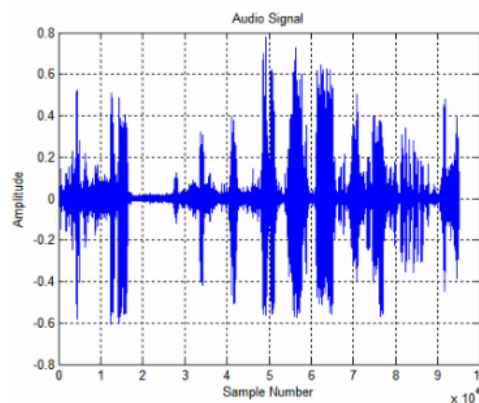
сигналы с датчиков, тональные сигналы, речь, аудио сигналы, дистанционное зондирование, биомедицинские сигналы



$s(x), s(t)$

P. Maragos et al. (eds.), Multimodal Processing and Interaction

Pinheiro et al. The Open Biomed Eng J, 2010, 4, 201-216



Left: Shouting signal. Right: Talking signal.

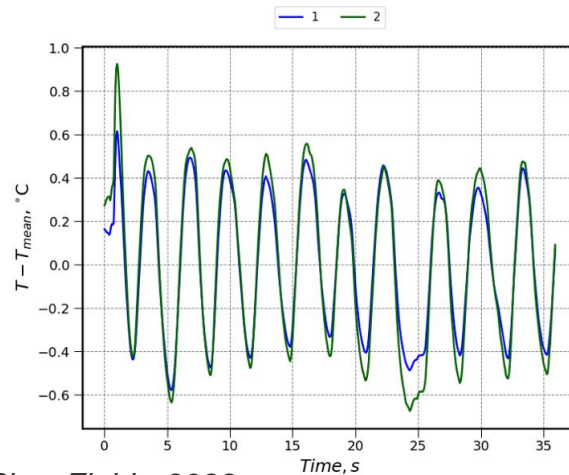
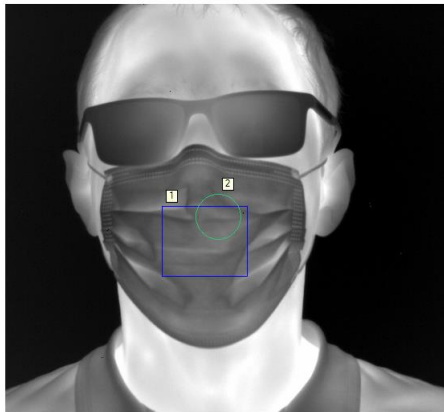
Размерность сигналов

■ 2D

текст, ч/б изображения
термография

цветные изображения
многозональная (спектрозональная съемка)
гиперспектральная съёмка

$s(x,y)$



Размерность сигналов

■ 2D

текст, ч/б изображения
термография

$s(x,y)$



цветные изображения
многозональная (спектрозональная съемка)
гиперспектральная съёмка

$\vec{s}(x,y)$

G



B



R



Размерность сигналов

■ 2D

текст, ч/б изображения
термография

$$s(x,y)$$

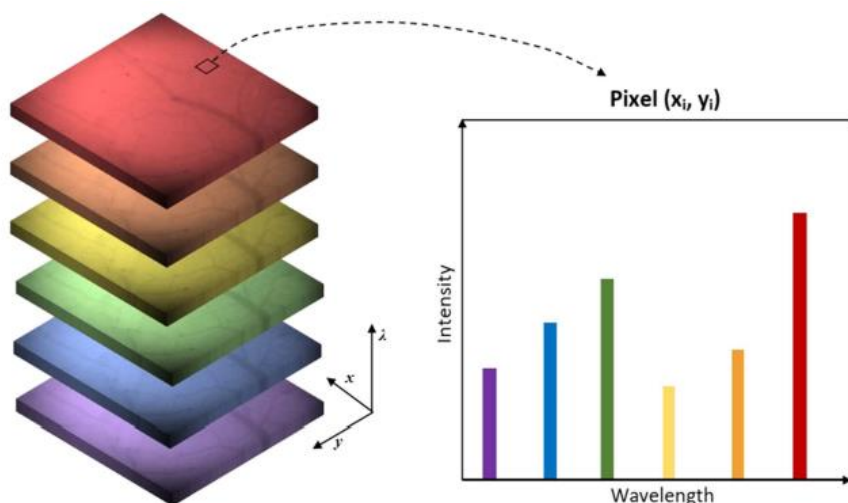
цветные изображения

многозональная (спектрозональная съемка)

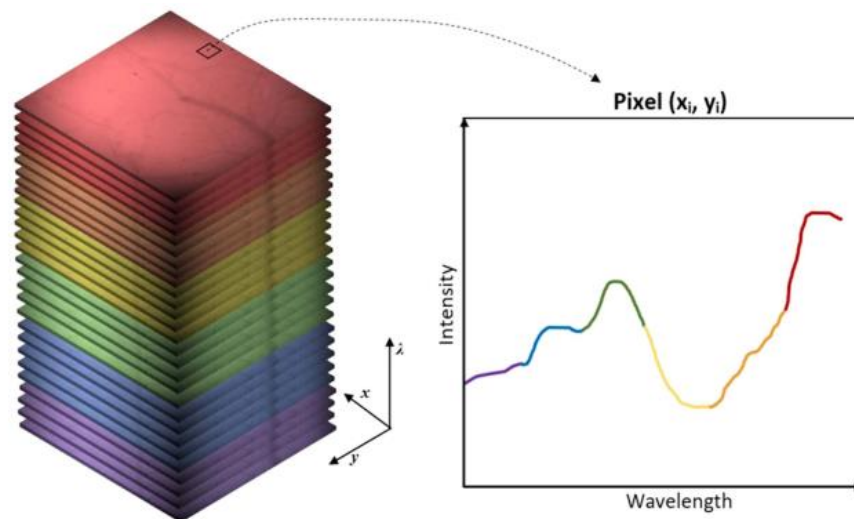
гиперспектральная съёмка

$$\vec{s}(x,y)$$

многозональная съемка



гиперспектральная съемка



Размерность сигналов

■ 2D

текст, ч/б изображения
термография

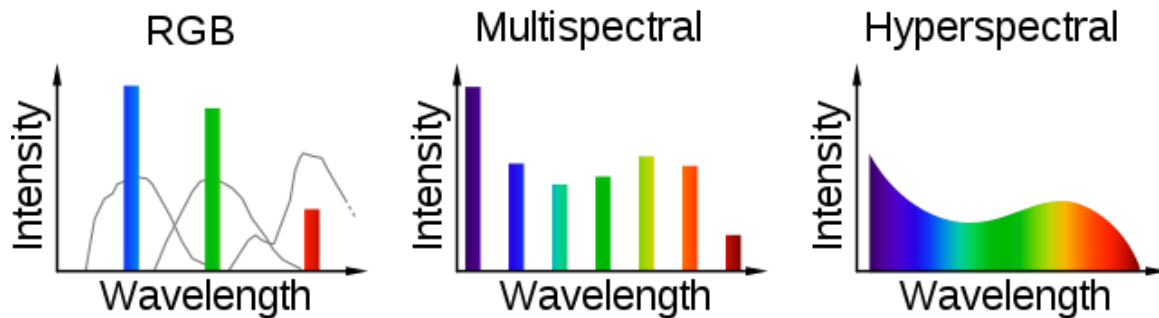
$$s(x,y)$$

цветные изображения

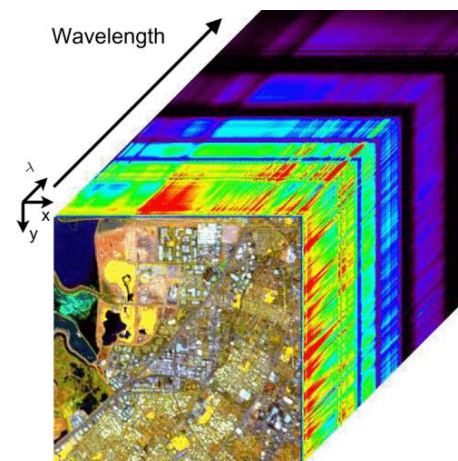
многозональная (спектрозональная съемка)

гиперспектральная съёмка

$$\vec{s}(x,y)$$



<https://commons.wikimedia.org/>



Размерность сигналов

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (**MODIS**)



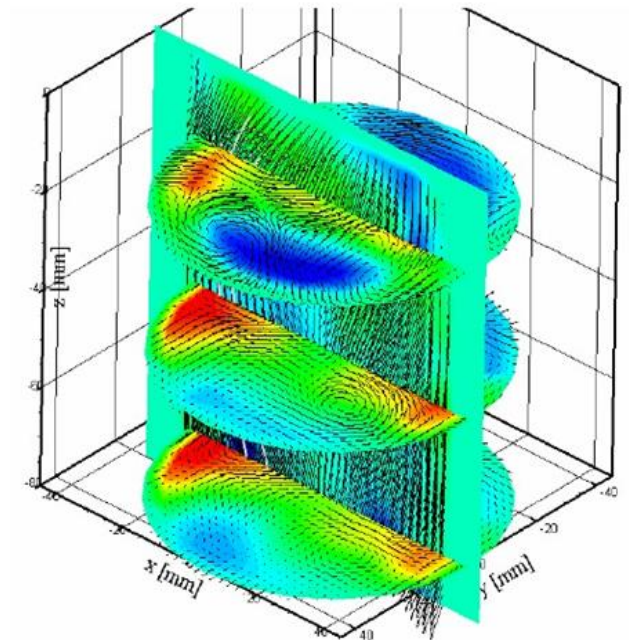
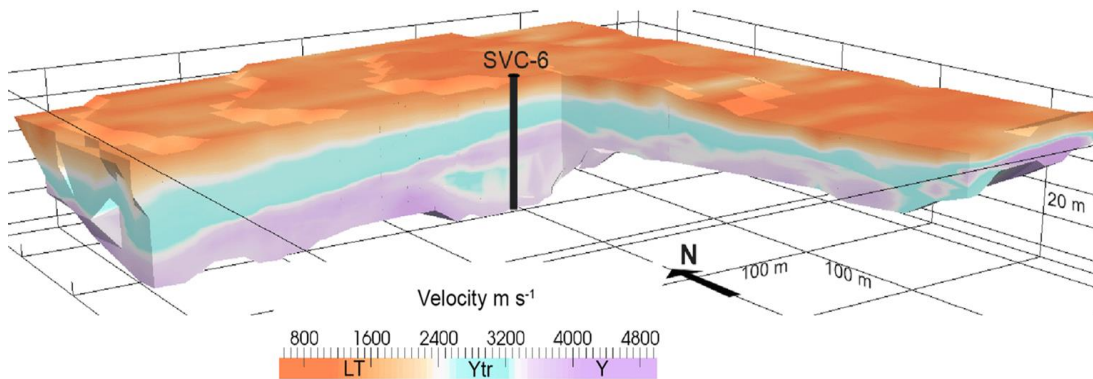
шлейф пепла над вулканом (п-ов Камчатка)
0.4-14 мкм

Размерность сигналов

■ 3D

видео $\vec{s}(x,y,t)$

объемные изображения $\vec{s}(x,y,z)$



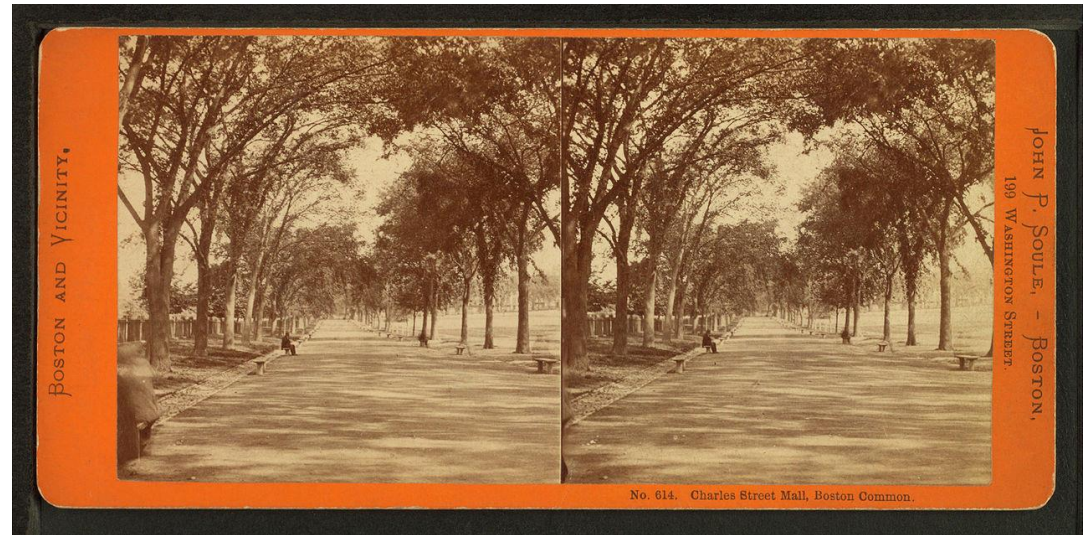
<https://www.akaer.com.br/>

Размерность сигналов

■ MD

динамические объемные изображения
стерео изображения

$$\vec{s}(x,y,z,t) \dots$$



Стереокарта для бытового стереоскопа 1860 г

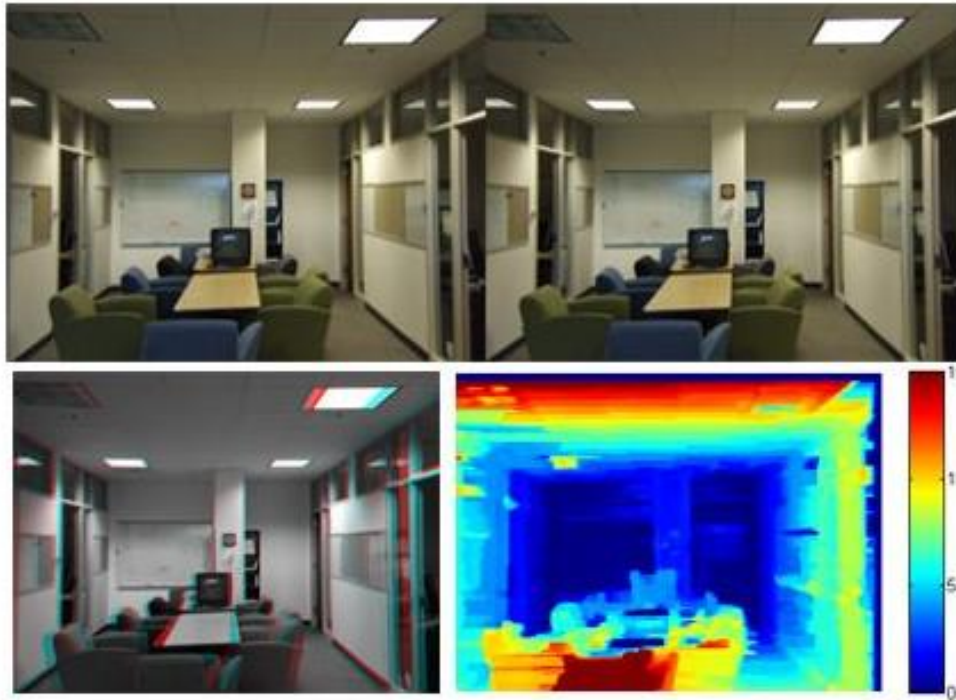
Размерность сигналов

■ MD

динамические объемные изображения
стерео изображения

$$\vec{s}(x,y,z,t) \dots$$

la.mathworks.com

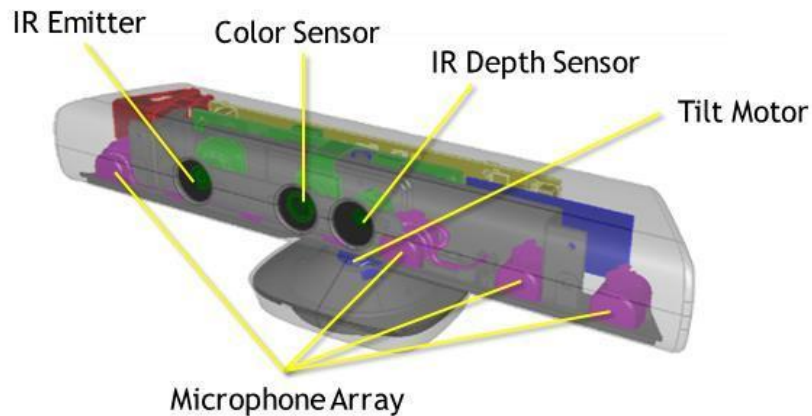


построение карты смещений (disparity maps) по двум изображениям в MATLAB

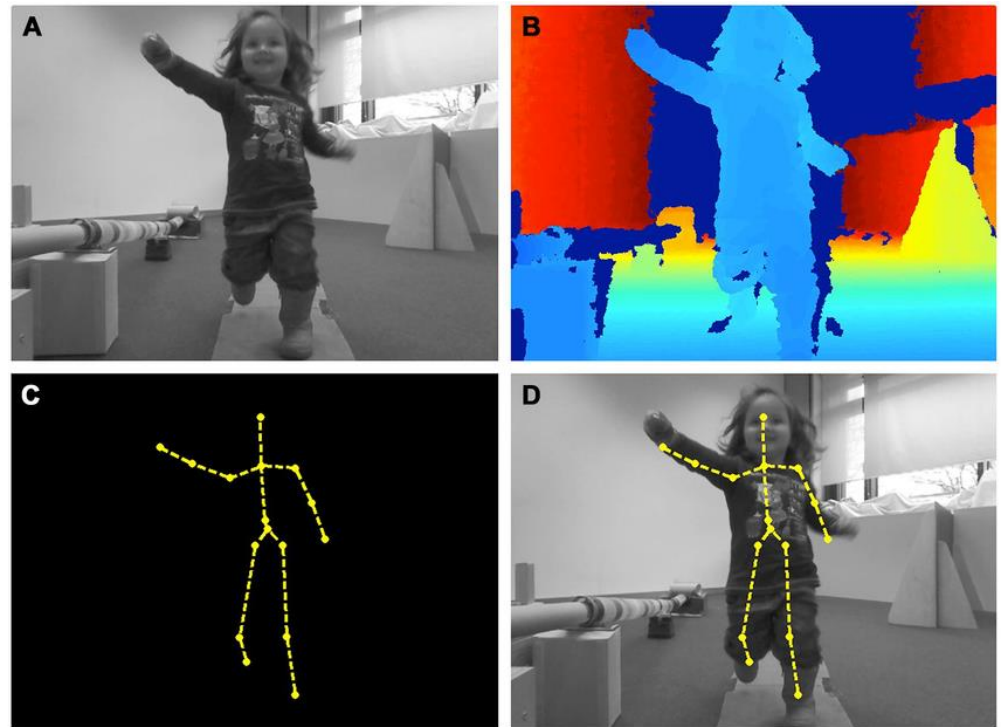
Размерность сигналов

■ MD

Kinect imaging



R. Hapach et al. Front. Psychol. 2015



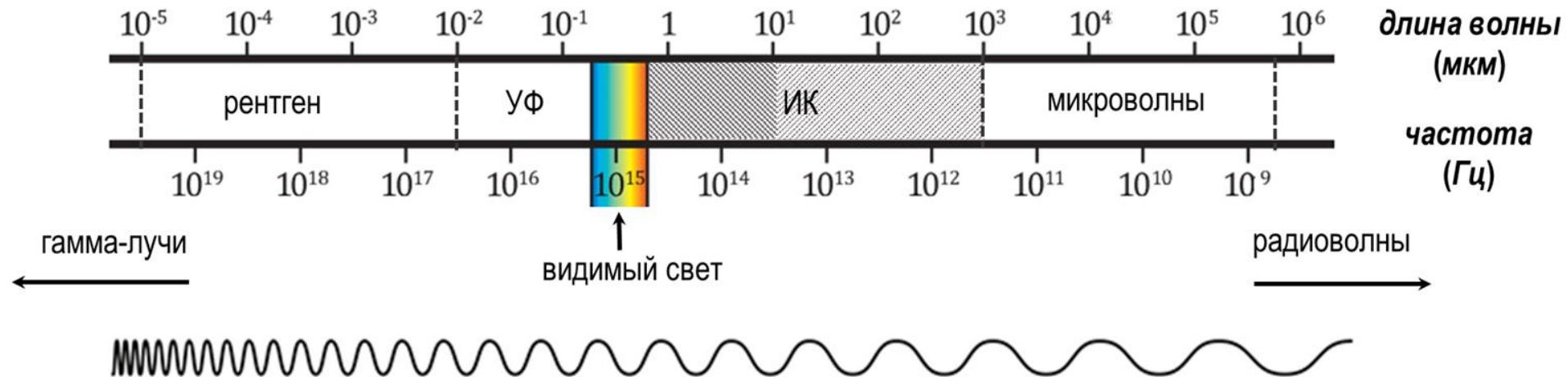
(A) RGB-channel, (B) depth contour image, (C) estimated skeletal joints, (D) mapping of the skeletal joints onto the RGB image.

Источники сигналов

Источниками (2D+) сигналов могут быть:

- электромагнитные силы
- звуковые волны
- пучки электронов
- компьютеры (искусственно синтезируемые сигналы)

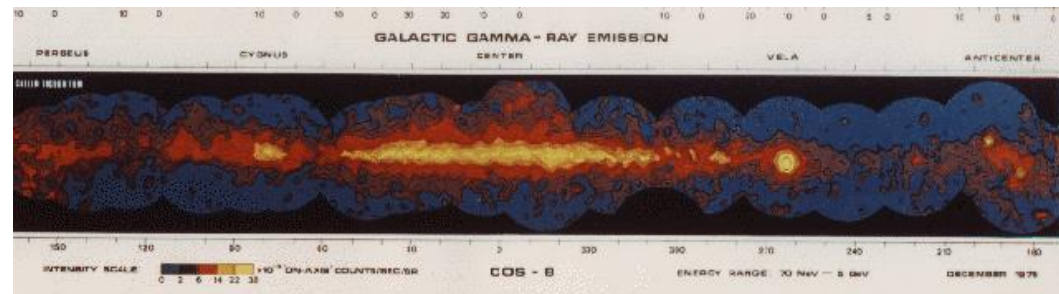
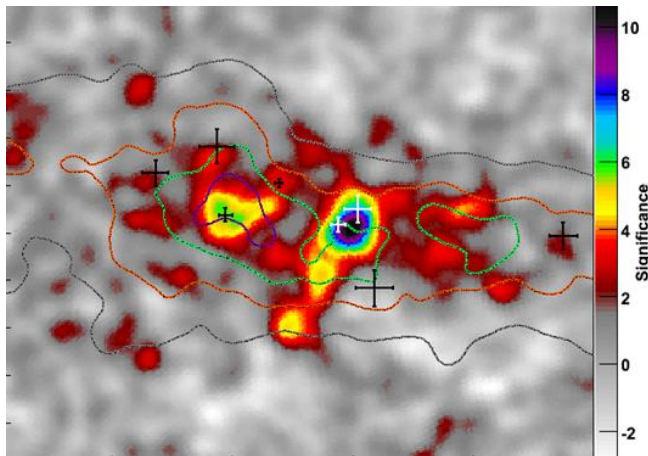
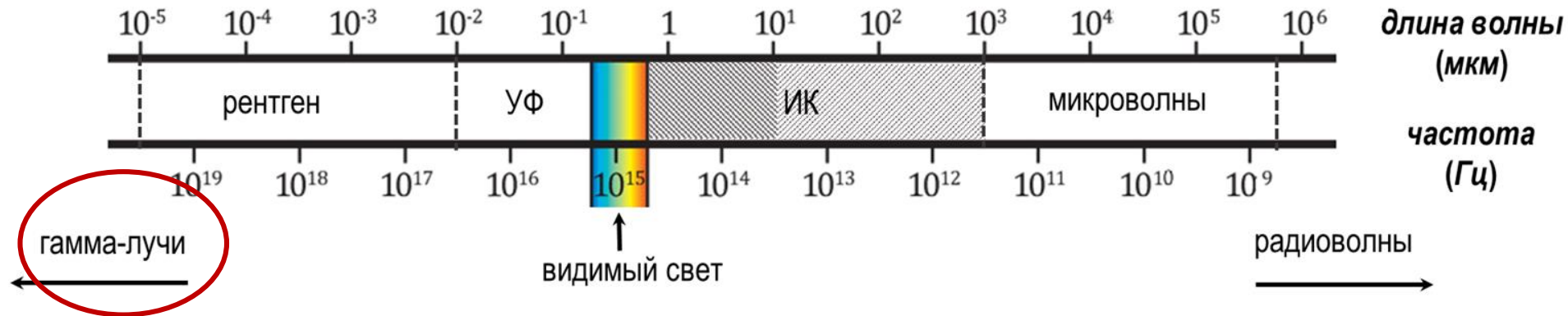
Электромагнитные источники сигналов



Регистрируется излучение от объектов:

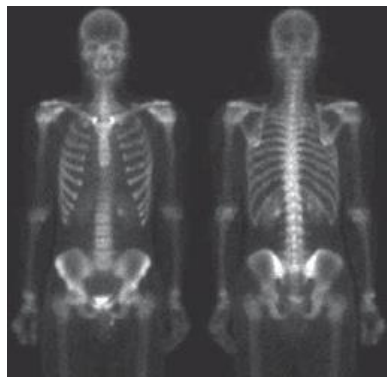
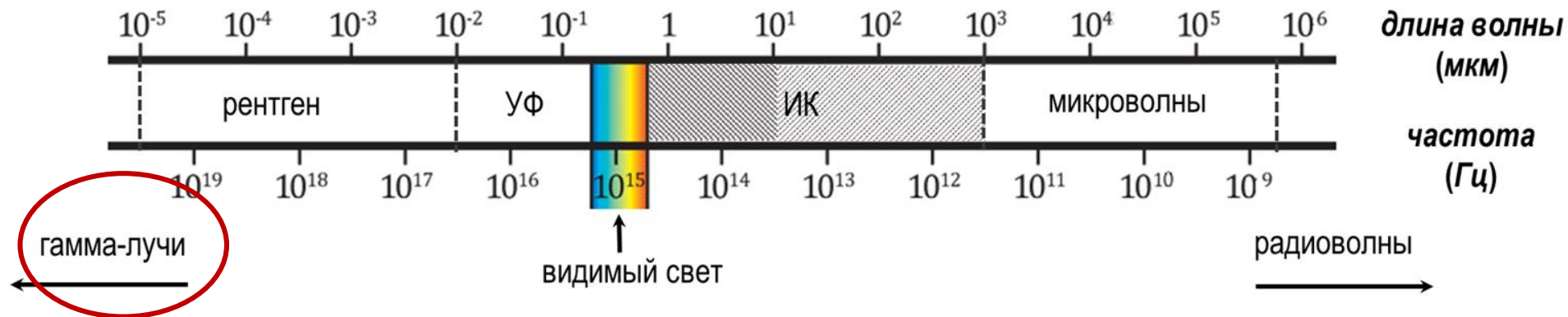
- поглощенное
- отраженное
- собственное

Электромагнитные источники сигналов

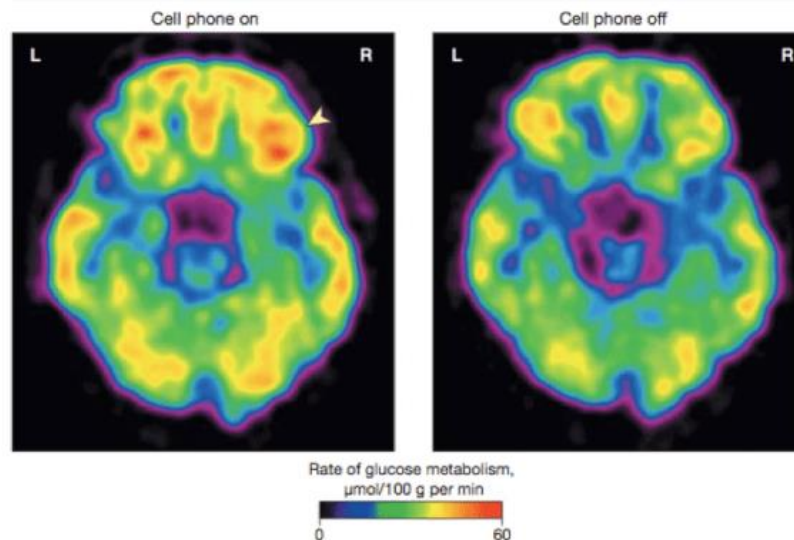


Карта плоскости Галактики в гамма-лучах по данным обсерватории Cos-B (1978 г)
<http://heasarc.gsfc.nasa.gov>

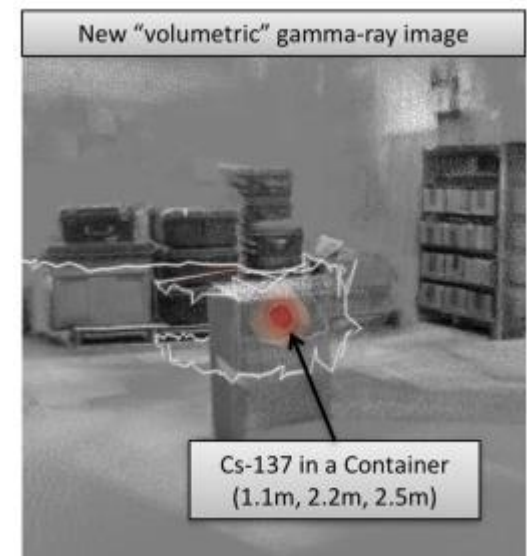
Электромагнитные источники сигналов



G. E. Medical Systems

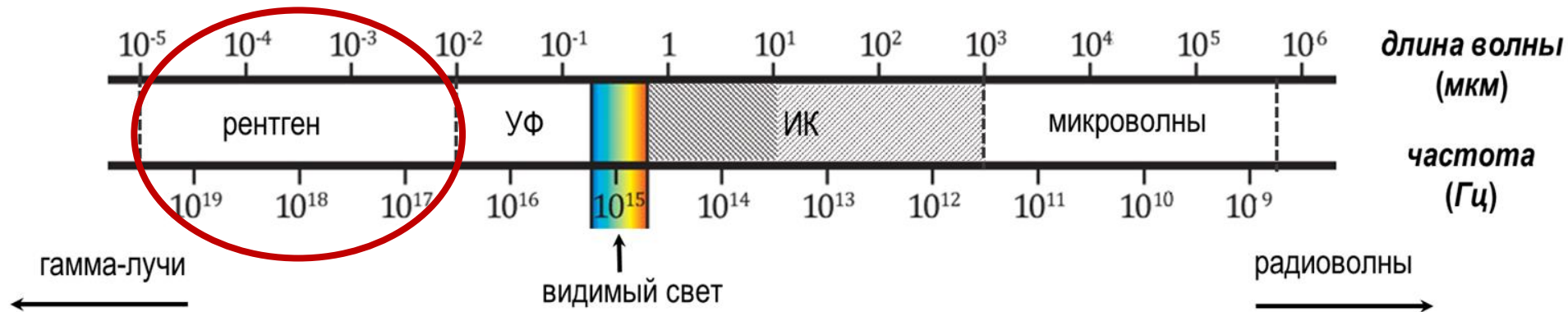


ПЭТ изображение головного мозга.
Volkow et al., 2011, Figure 2



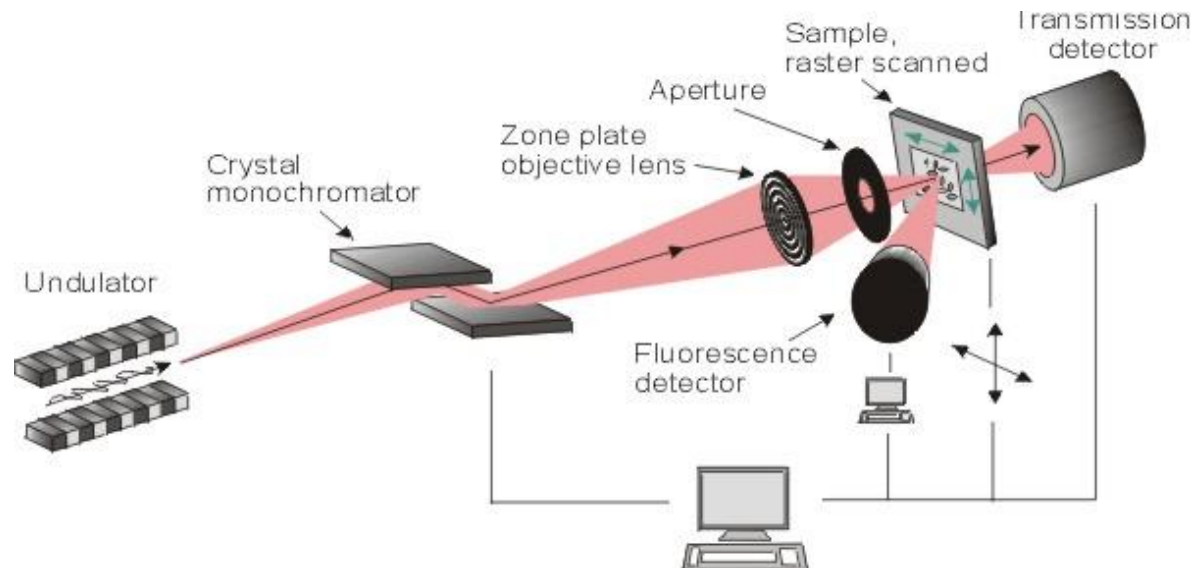
Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 878 (2018) 159–168

Электромагнитные источники сигналов

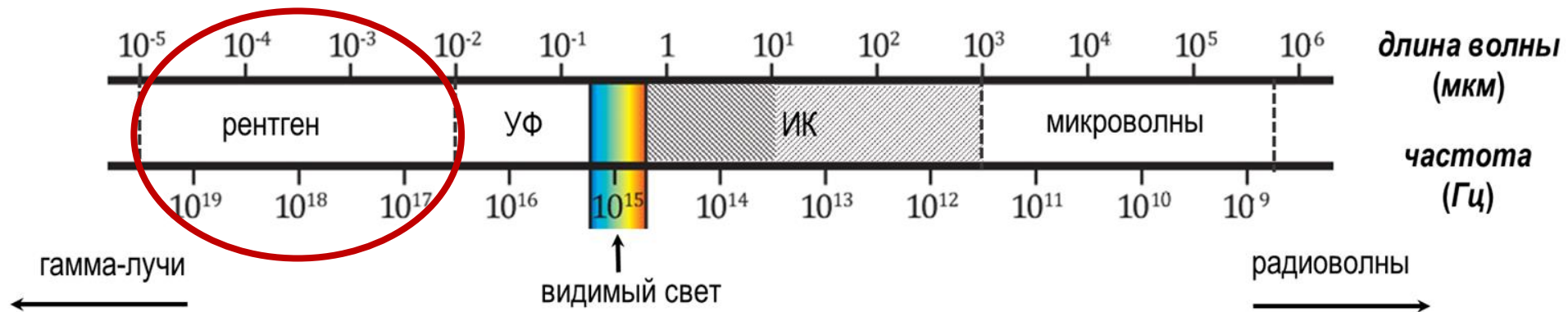


Источники:

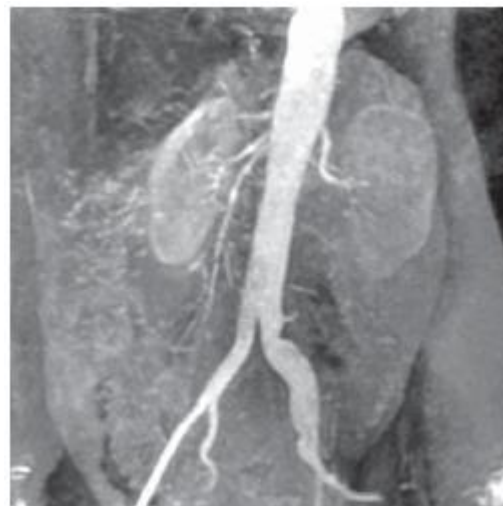
- рентгеновские трубки
- синхротронное излучение



Электромагнитные источники сигналов

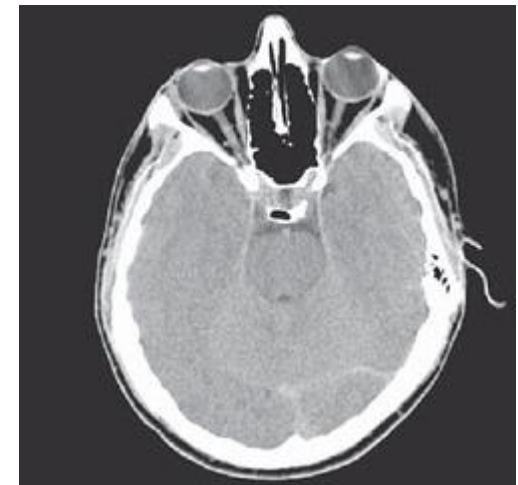


Гонсалес, Вудс. 2012

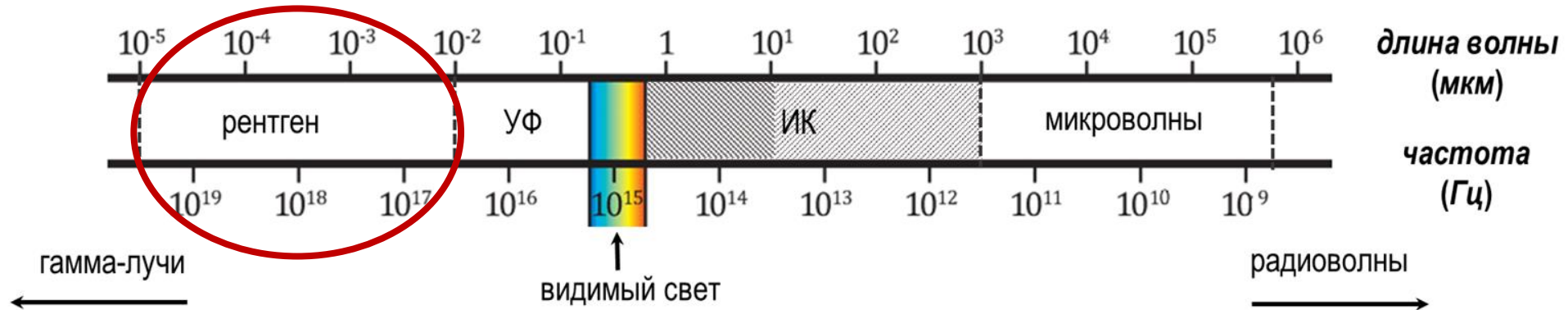


ангиограмма аорты

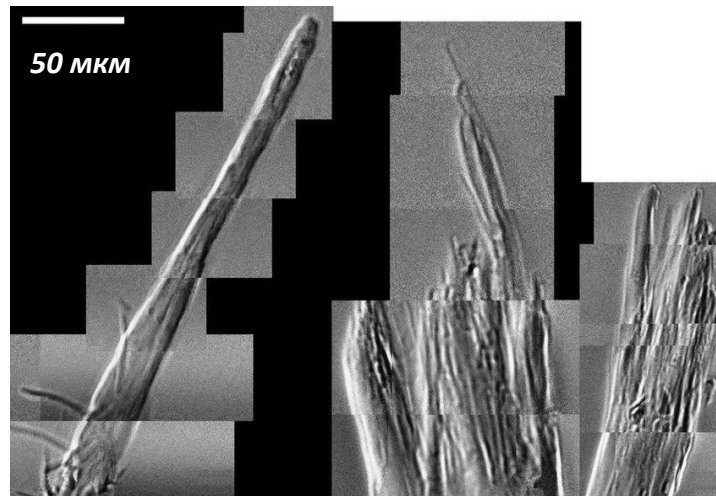
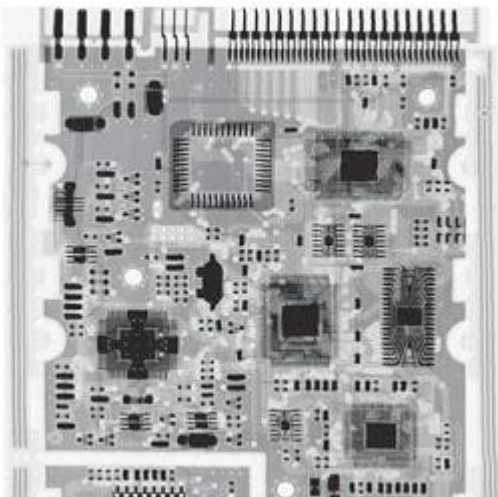
КТ головного мозга



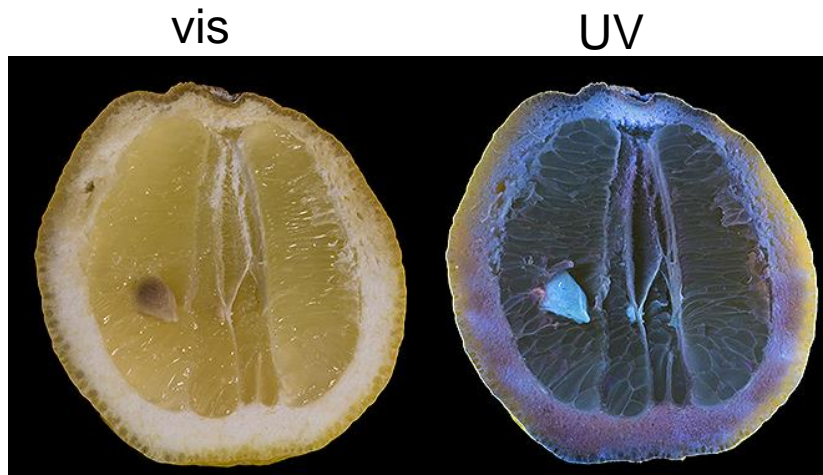
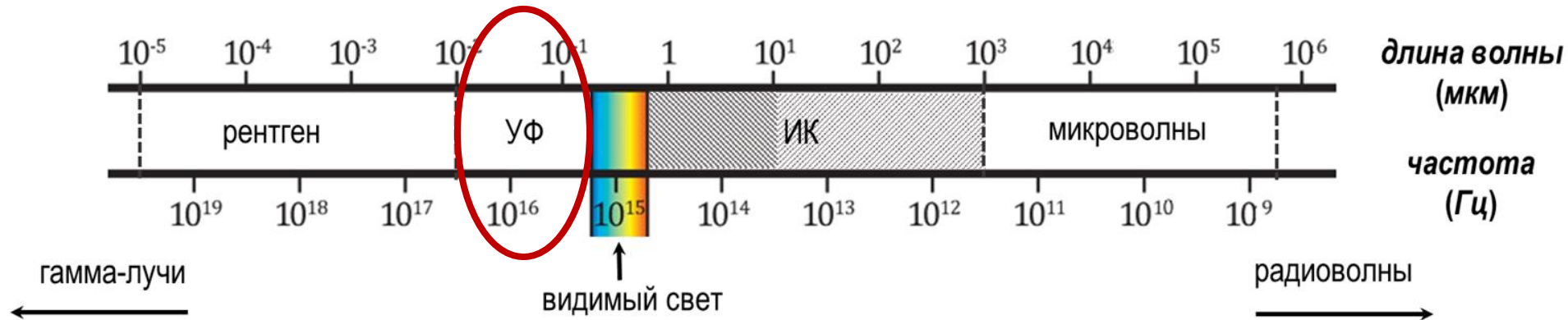
Электромагнитные источники сигналов



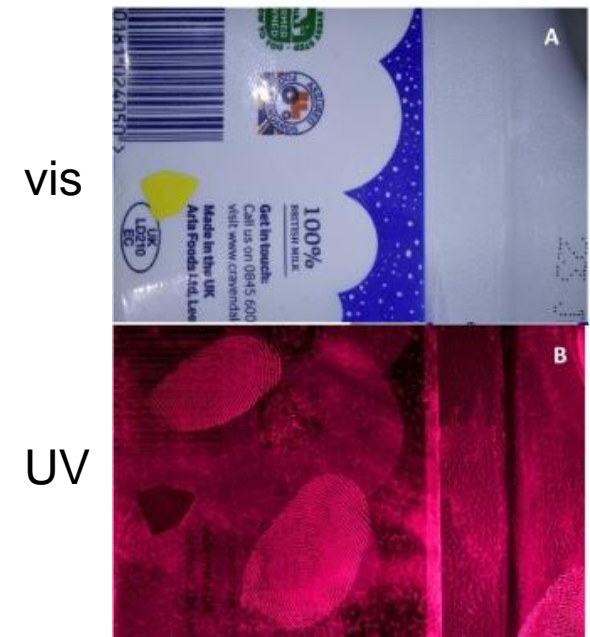
кристаллография, микроскопия, рентгеноструктурный анализ



Электромагнитные источники сигналов

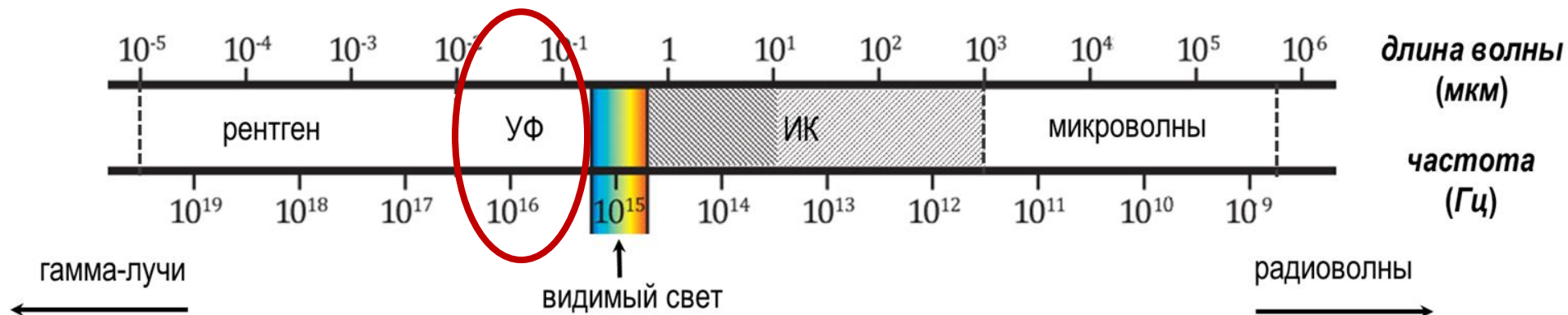


<http://www.adriandaviesimaging.com/>

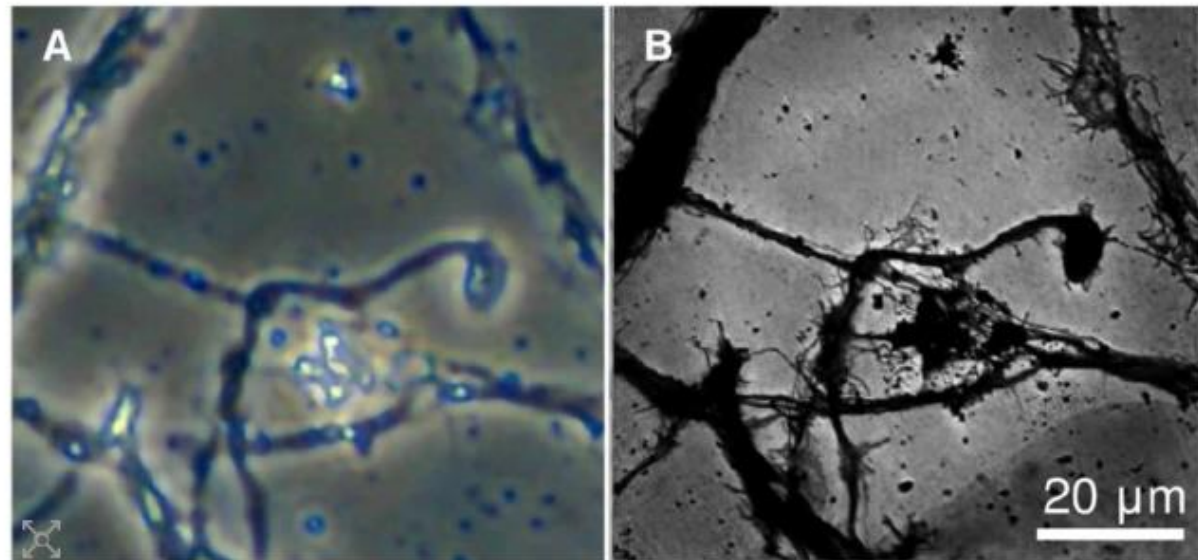


R.S.P. King et al. Forensic Science International 289 (2018)

Электромагнитные источники сигналов

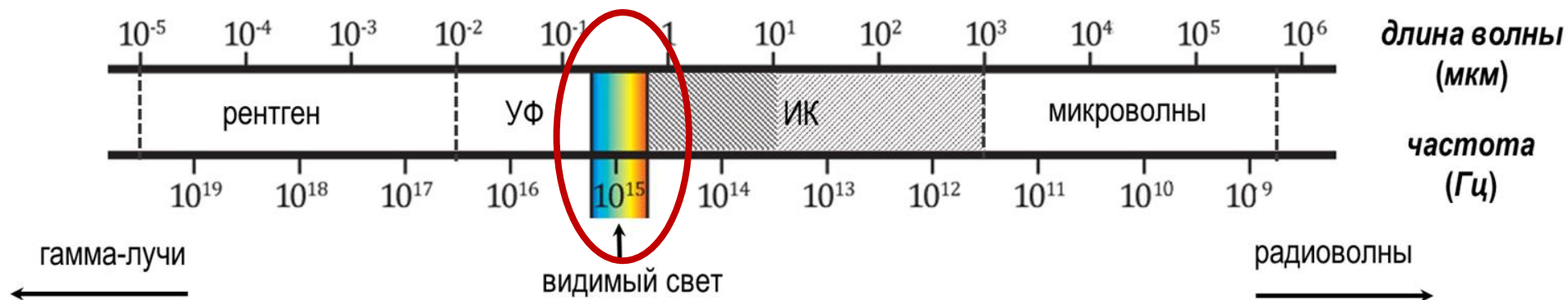


флуоресцентная
микроскопия



(A) White light phase-contrast microscopy image of a neuron sample after fixing; (B) 29 nm EUV ptychography of the sample, demonstrating extra detail and higher resolution. (Courtesy: CC BY 4.0/Science Advances 10.1126/sciadv.aaz302)

Электромагнитные источники сигналов

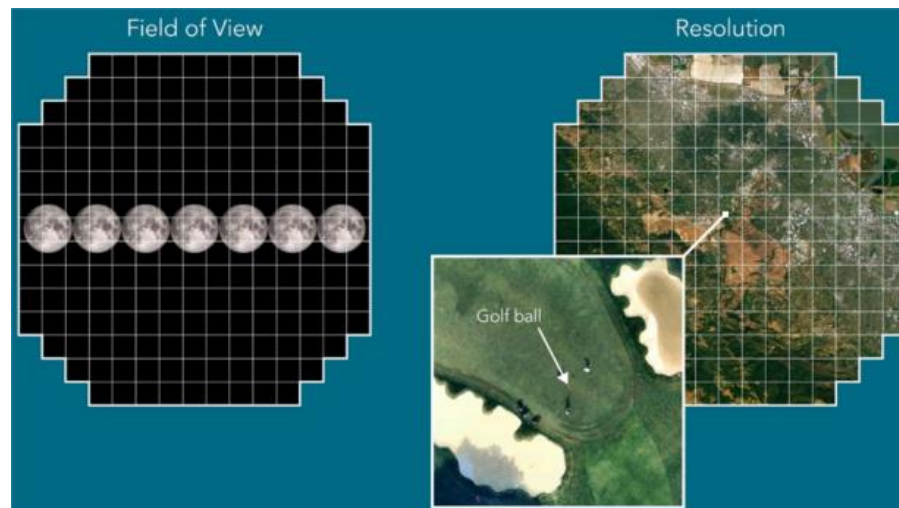


Large Synoptic Survey Telescope LSST (2014-2023)

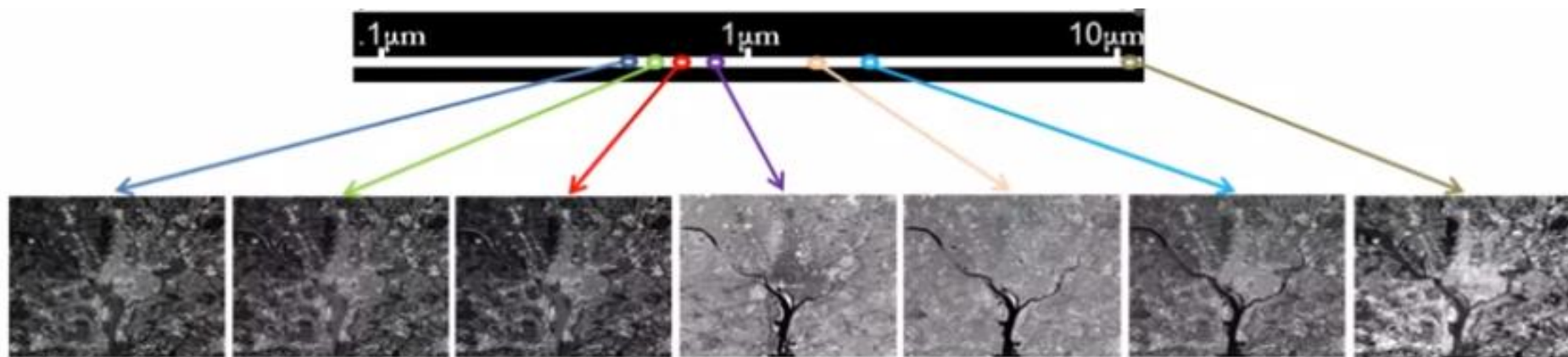
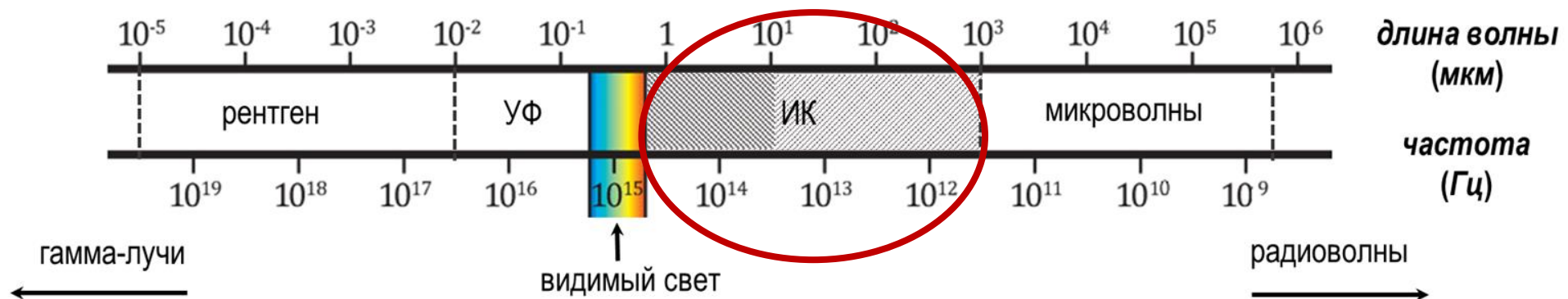
камера 3200 Мпк размером 1.65 м x 3 м



мяч для гольфа с
высоты 20 км

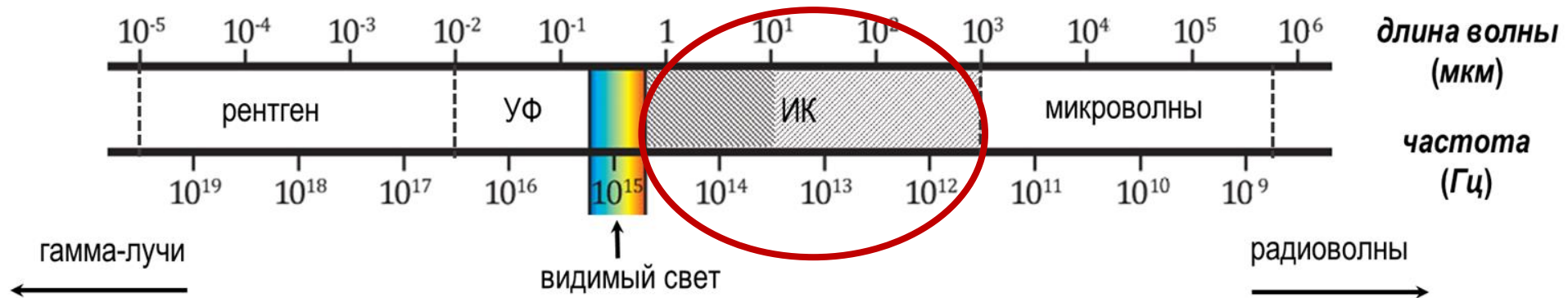


Электромагнитные источники сигналов



снимки г. Вашингтон со спутника LANDSAT

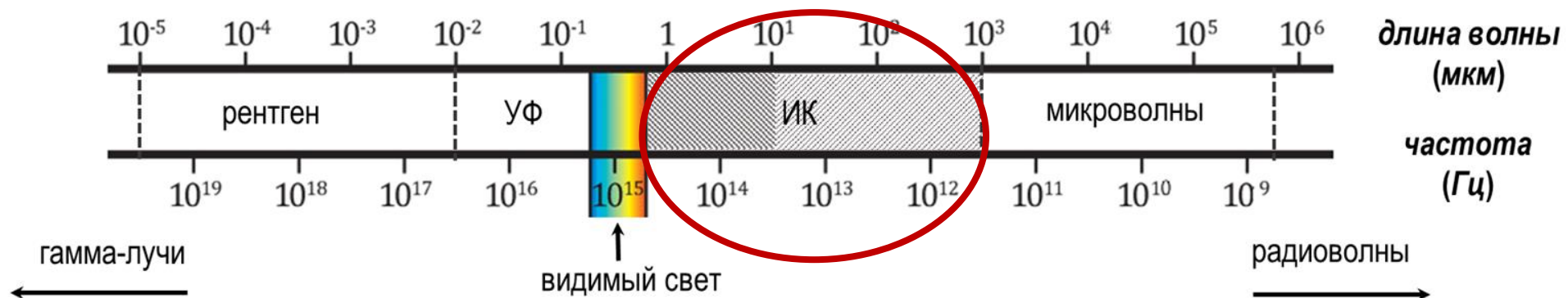
Электромагнитные источники сигналов



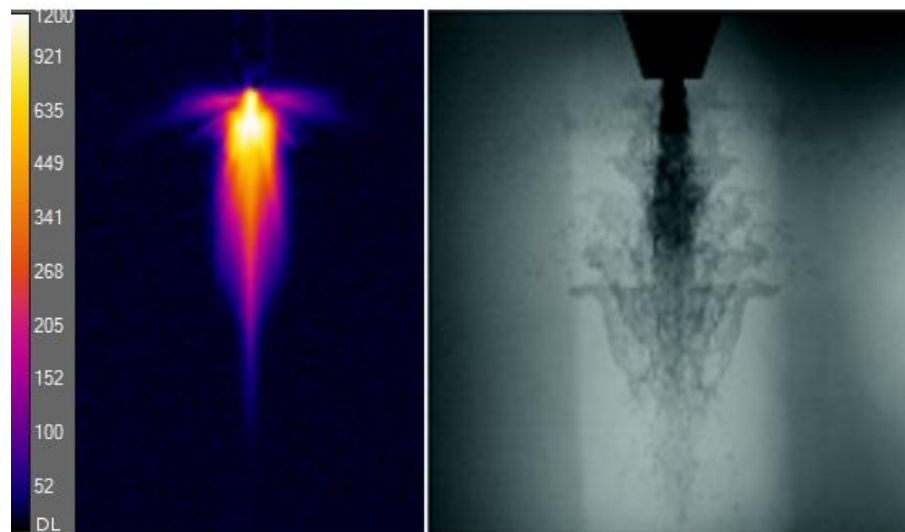
- ближний ИК



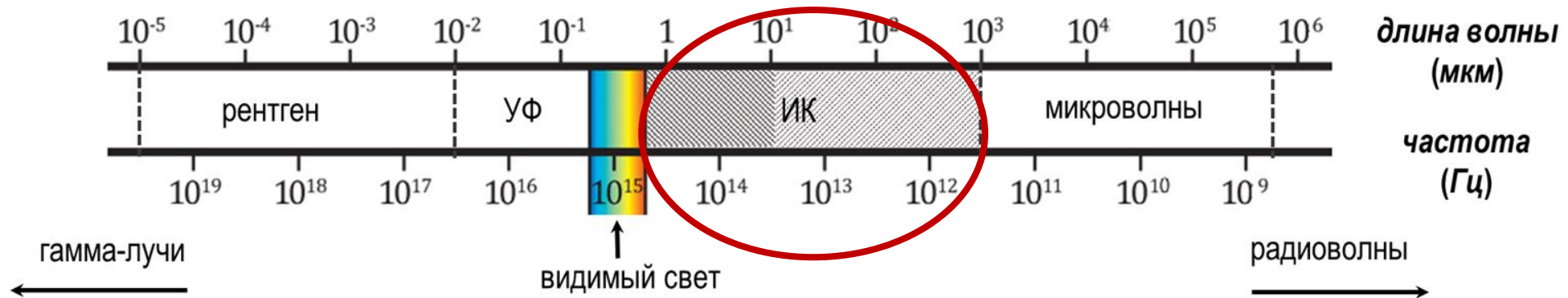
Электромагнитные источники сигналов



- средний ИК (~3-15 мкм)



Электромагнитные источники сигналов



- дальний ИК

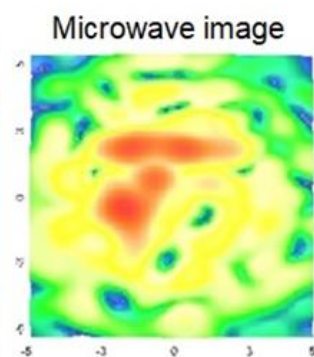
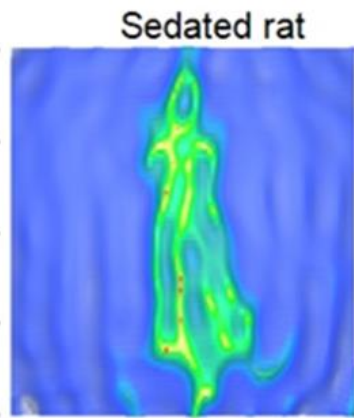
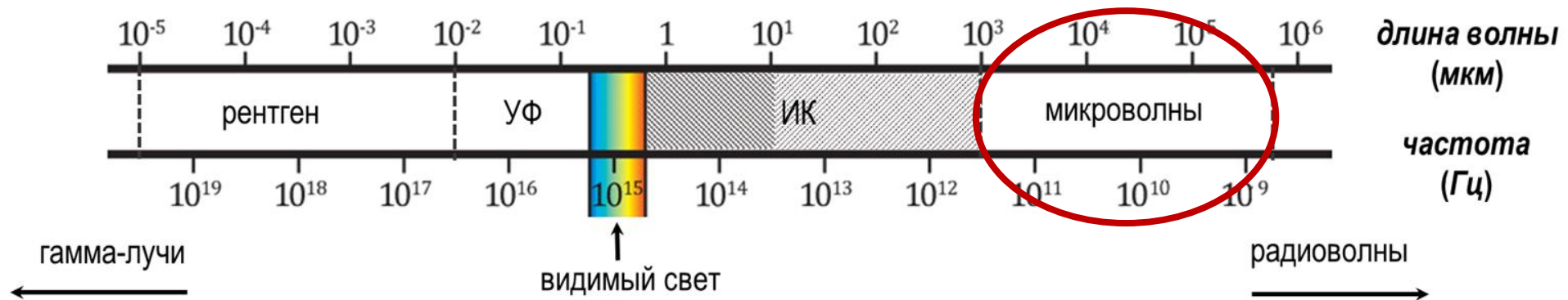


Xu Z. et al. In: Lai JH. et al. (eds) PRCV 2018. Vol. 11259

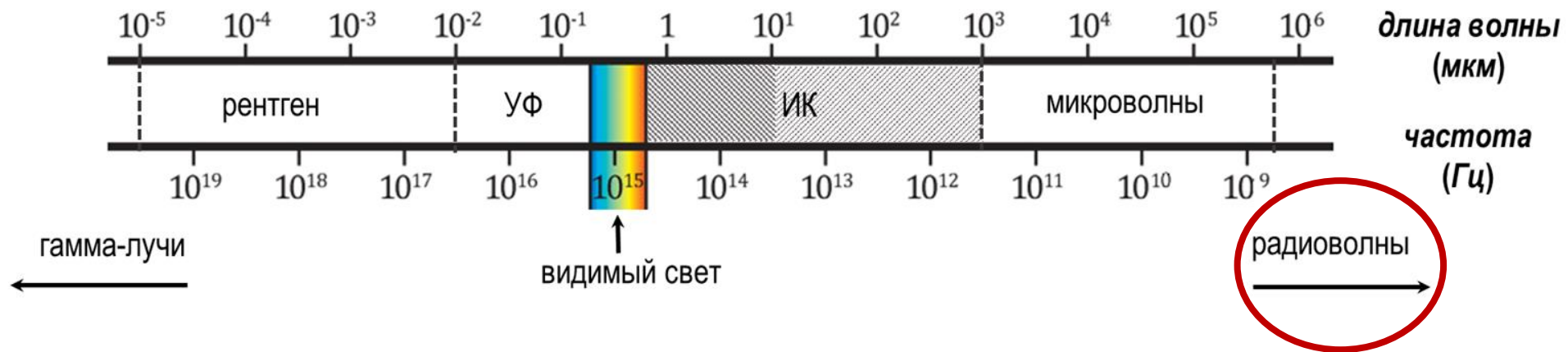


галактика Андромеды
Herschel Space Observatory

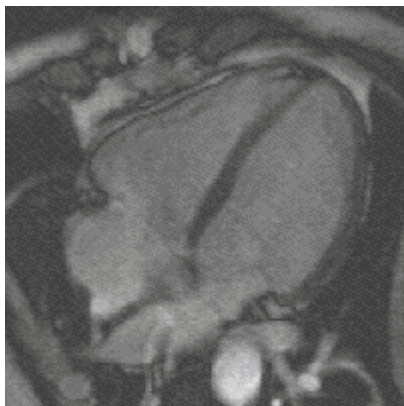
Электромагнитные источники сигналов



Электромагнитные источники сигналов



МРТ изображения (ЯМР)

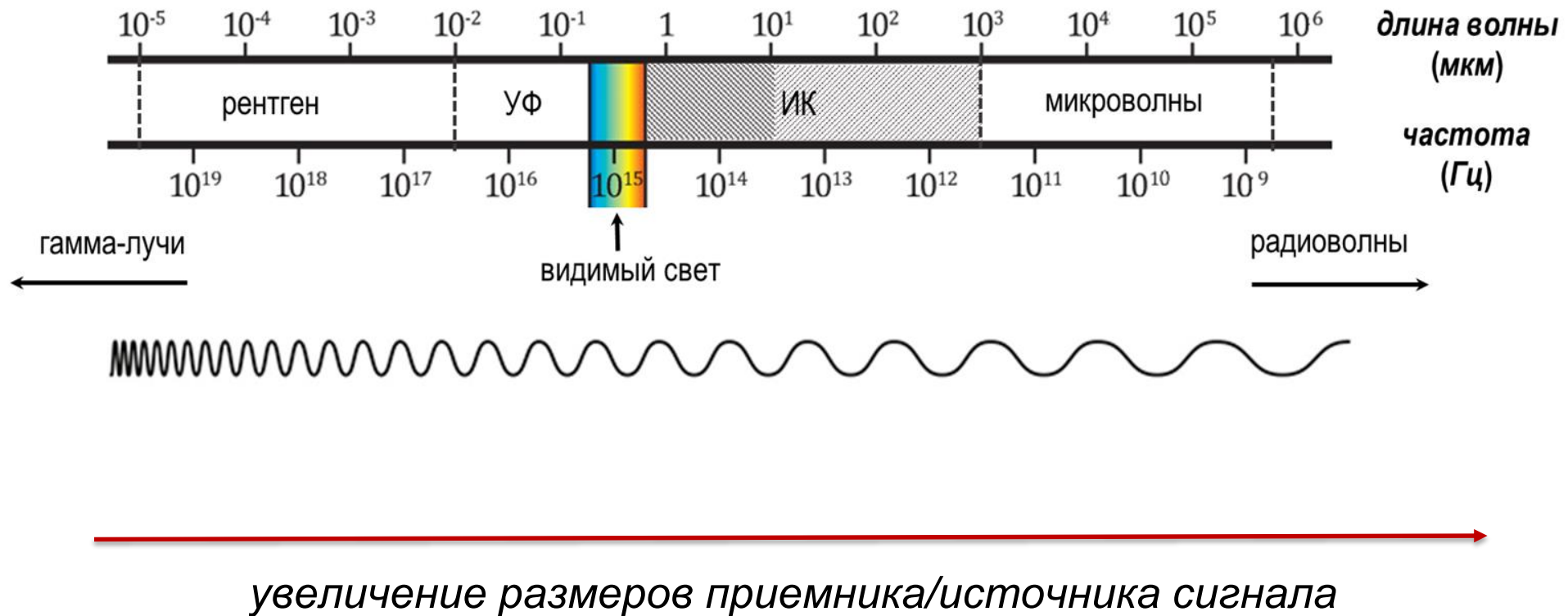


МРТ сердца <https://en.wikipedia.org/>



Гонсалес, Вудс. 2012

Электромагнитные источники сигналов

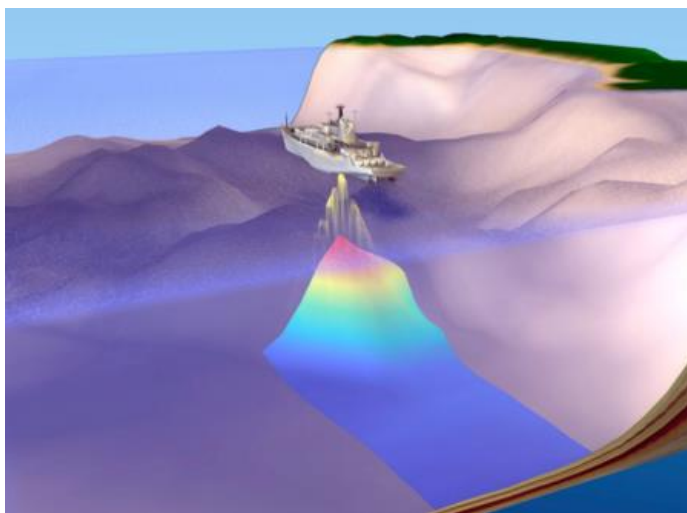
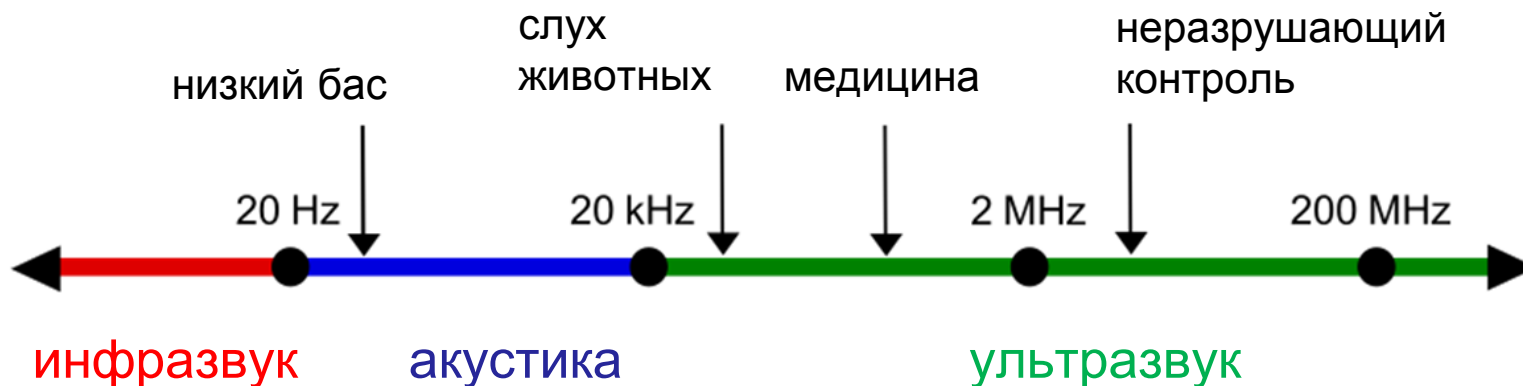


Источники сигналов

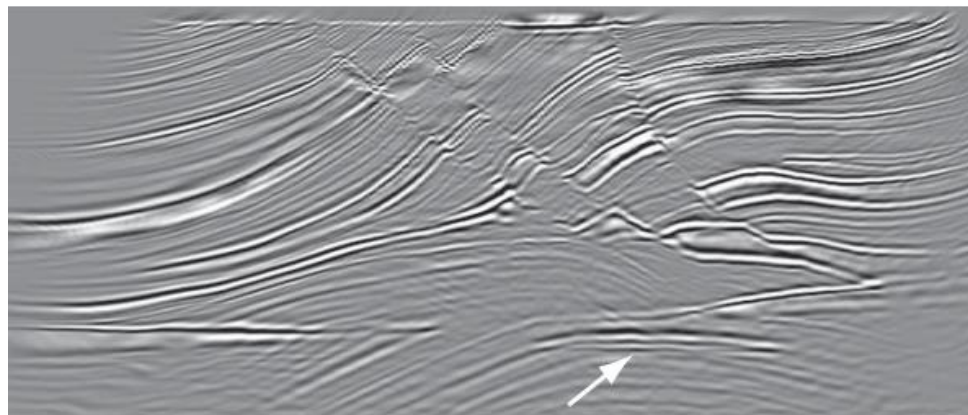
Источниками (2D+) сигналов могут быть:

- электромагнитные силы
- звуковые волны
- пучки электронов
- компьютеры (искусственно синтезируемые сигналы)

Звуковые источники сигналов

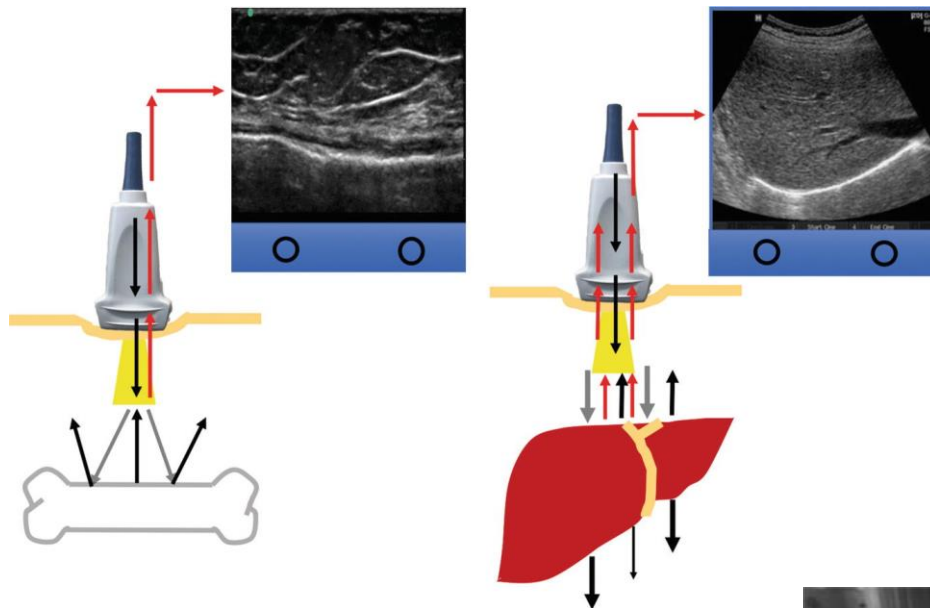


ЭХОЛОТ



Поперечное сечение модели данных сейсморазведки. Стрелкой указан пласт углеводородов (место залегания нефти и/или газа)

Звуковые источники сигналов



Ultrasound for Interventional Pain Management 2019 pp 1-31



Источники сигналов

Источниками (2D+) сигналов могут быть:

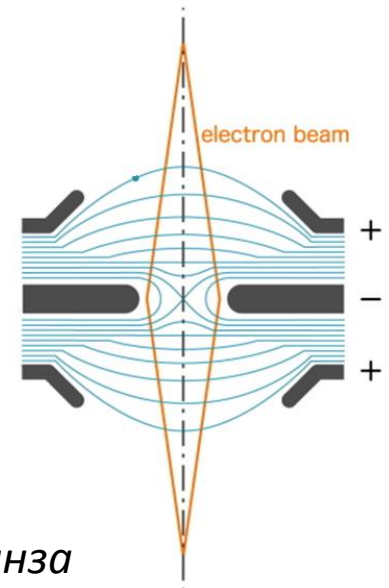
- электромагнитные силы
- звуковые волны
- пучки электронов
- компьютеры (искусственно синтезируемые сигналы)

Электронная микроскопия

Электронный микроскоп — прибор, позволяющий получать изображение объектов с максимальным увеличением до 10^6 раз, благодаря использованию вместо светового потока пучка электронов с энергиями 200 эВ — 400 кэВ и более

для электрона, который ускорился в электрическом поле с разностью потенциалов $\Delta\varphi$ (Вольт):

$$\lambda = \frac{12,25}{\sqrt{\Delta\varphi}} \text{ \AA}.$$

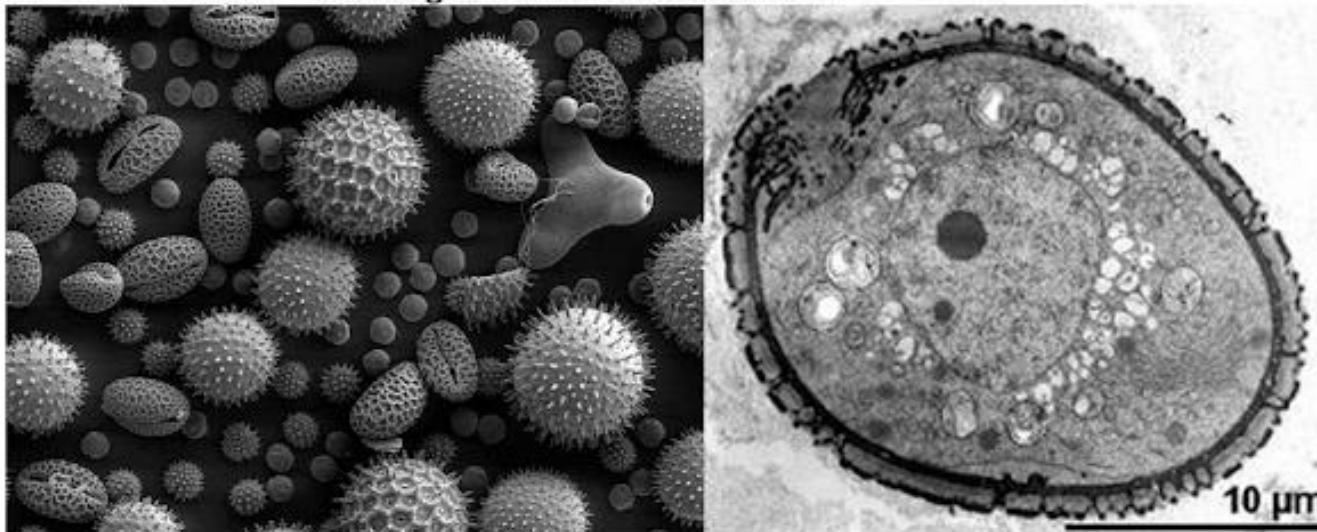


магнитная линза

Электронная микроскопия



Pollen grain under SEM and TEM



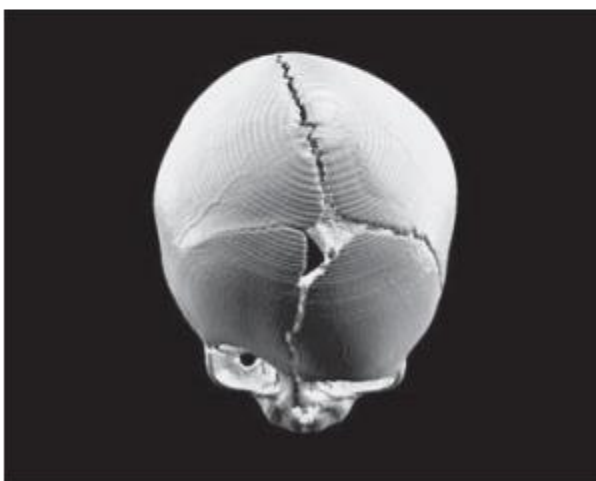
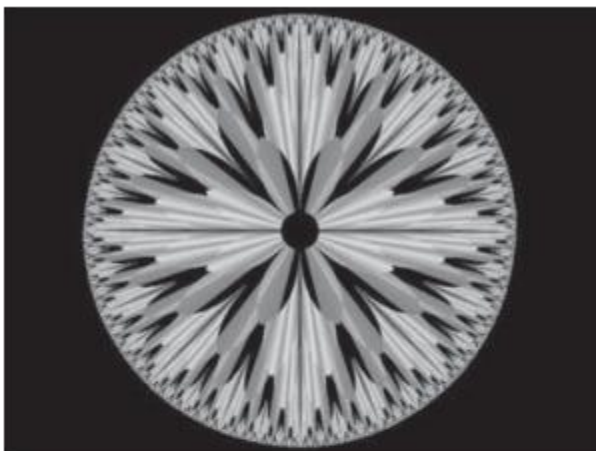
Scanning Electron Microscope (SEM) vs Transmission Electron Microscope (TEM)

Источники сигналов

Источниками (2D+) сигналов могут быть:

- электромагнитные силы
- звуковые волны
- пучки электронов
- компьютеры (искусственно синтезируемые сигналы)

Искусственно синтезируемые сигналы



Гонсалес, Вудс. 2012

