

Национальная технологическая  
инициатива

---

Пространство возможного

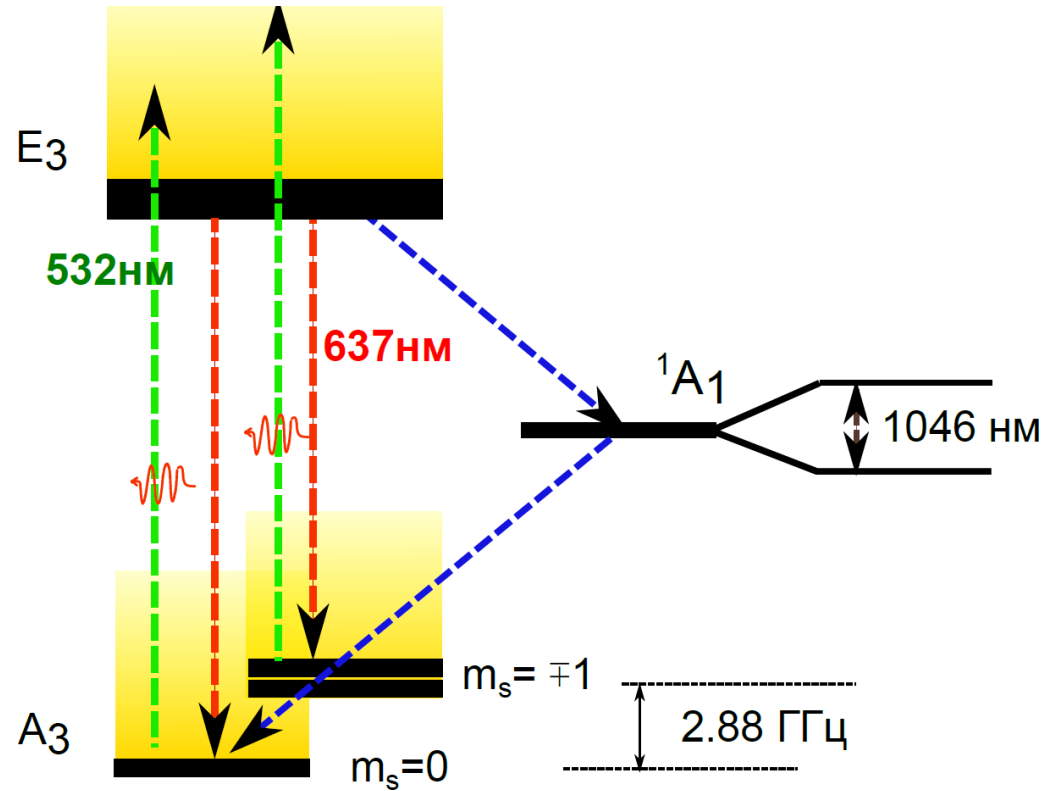
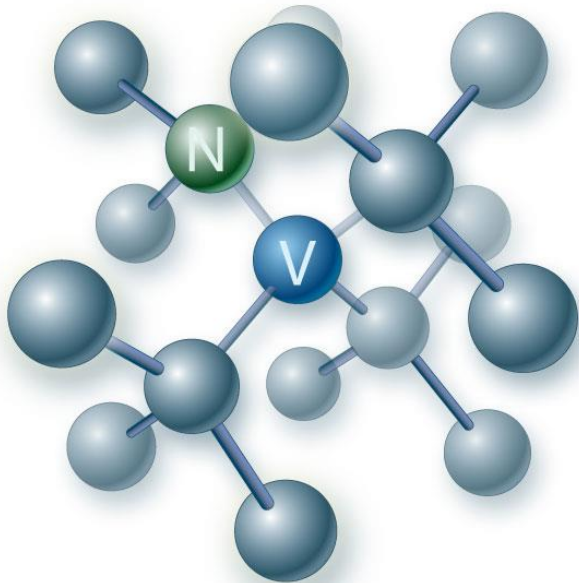
# Next generation solid state quantum gyroscope

LLC Sensor Spin Technology



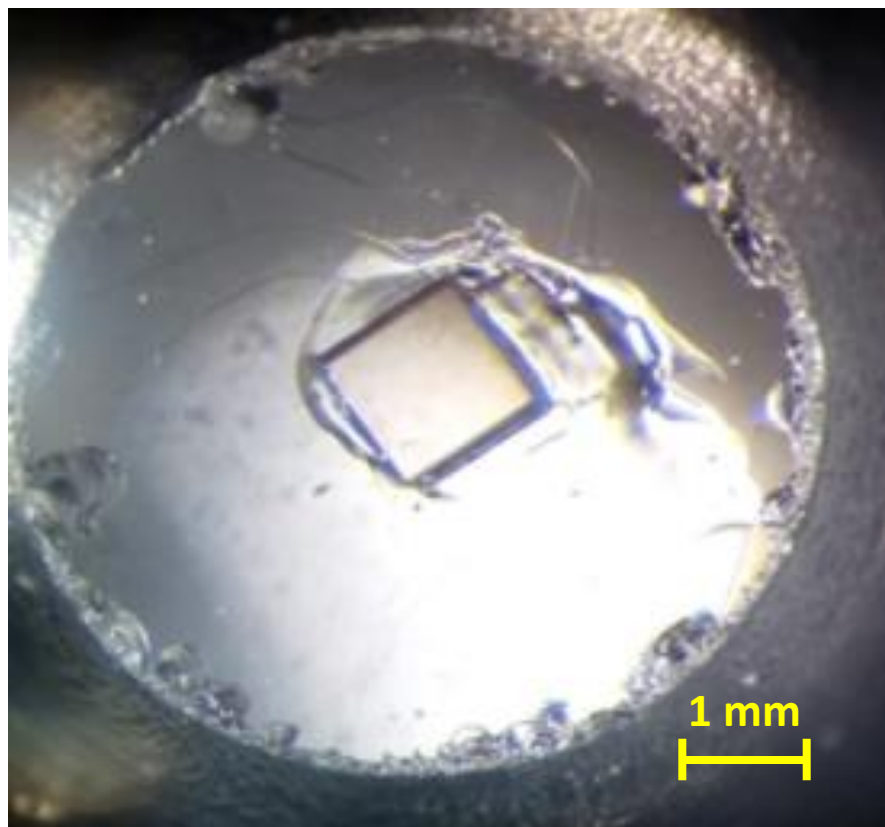
# NV center in diamond

## Crystal lattice



1. Atom like solid state system
2. Large forbidden zone – high stability

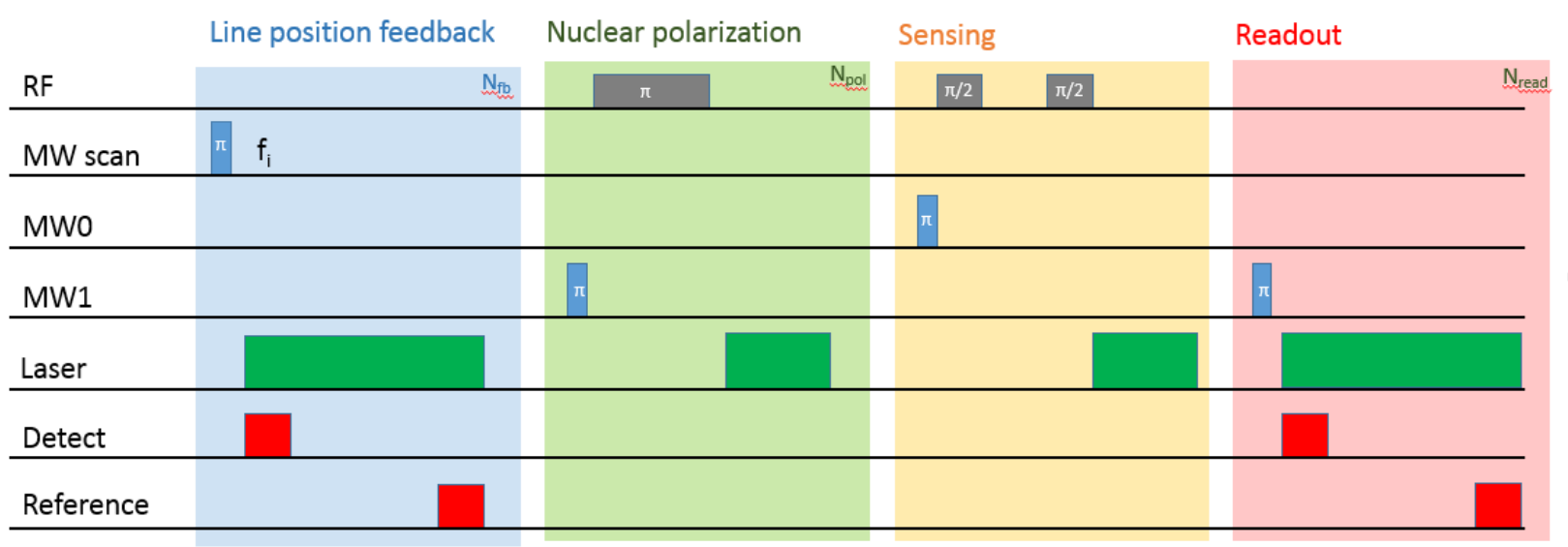
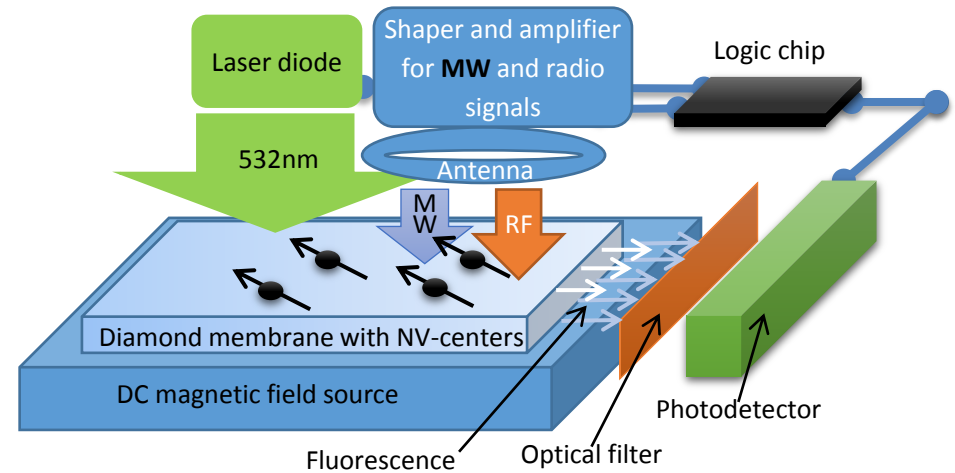
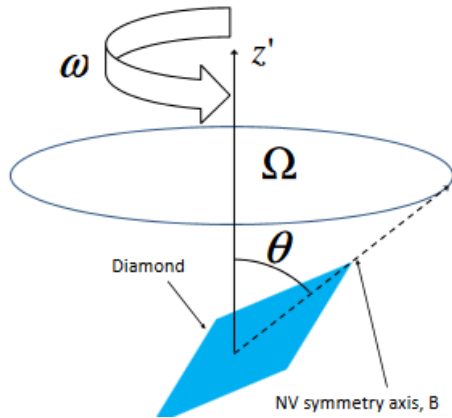
# Compact and stability



**Diamond is a stable material -> ultra small parameters drift**



# Example of device gyroscope



# Multisensor

Sensor	Magnetic field	Temperature	Strain & Pressure	Electric Field	Rotation
Magnetic field	Black	Green	Red	Red	Green
Temperature	Green	Black	Red	Red	Green
Strain & Pressure	Red	Red	Black	Red	Green
Electric Field	Red	Red	Red	Black	Green
Rotation	Green	Green	Green	Green	Black

## Simultaneous measurements possible for

- Magnetic field
- Temperature
- Rotation

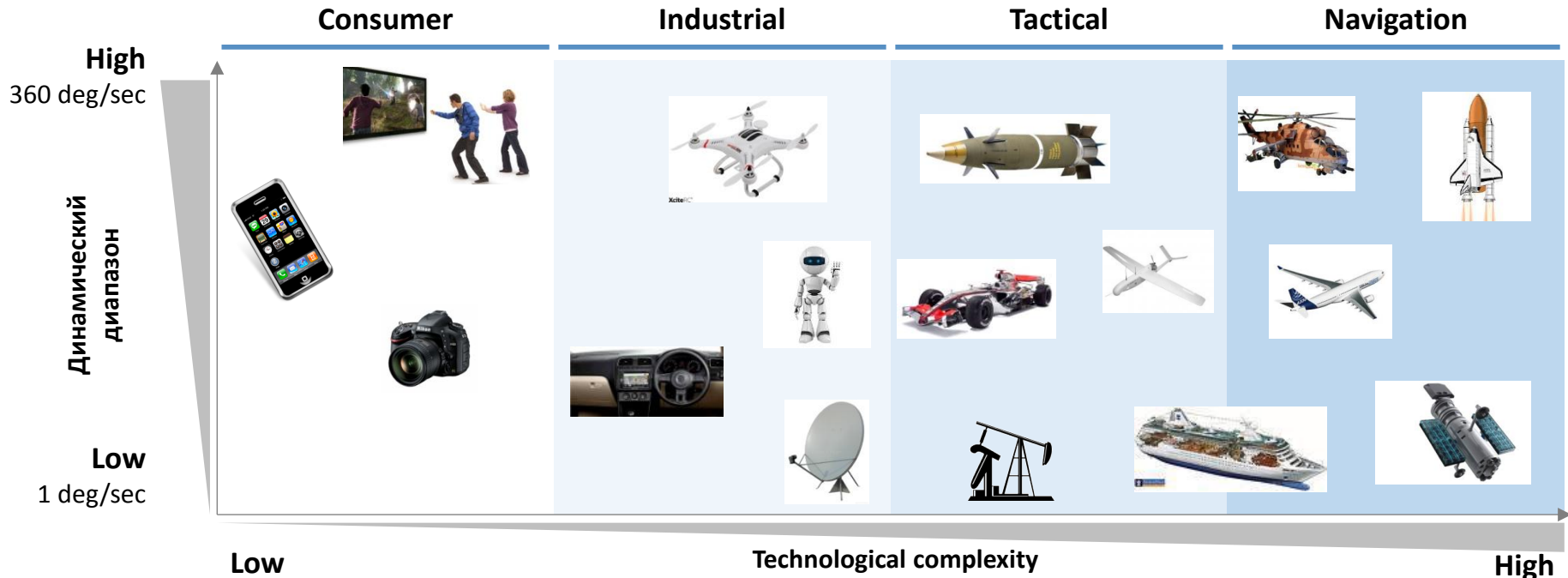
## Simultaneous measurements NOT possible for

- Temperature
- Strain
- Electric field

This values could not be distinguished between each other, because they produce the same impact on the sensor



# Comparison with analogs



	Consumer	Industrial	Tactical	Navigation
<b>ARW, deg/vh</b>	~10 <sup>-3</sup>	~10 <sup>-4</sup>	~10 <sup>-5</sup>	~10 <sup>-6</sup>
<b>Drift, deg/h</b>	~1	~5	~0,5	~0,01
<b>Price per axis, \$</b>	1-1,5	2-5	5-10	16-500



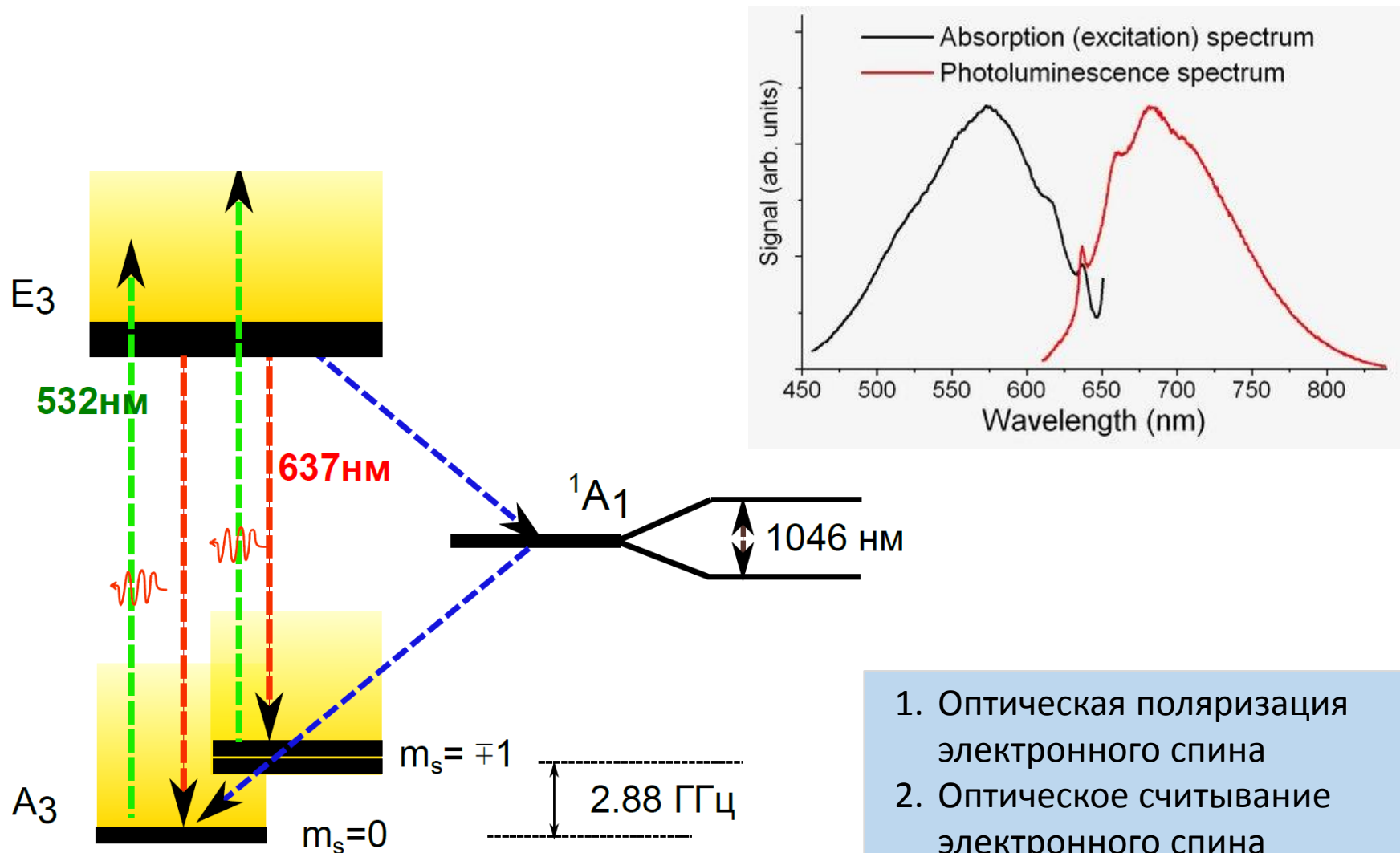
# Achievable parameters

Physical quantity	Physical effect	AC <sup>a</sup>	DC <sup>b</sup>
Magnetic field	<ul style="list-style-type: none"><li>Zeeaman</li></ul>	$1\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$	$1\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$
Temperature	<ul style="list-style-type: none"><li>Thermal deformation</li></ul>	$10^{-8}\text{K}/\sqrt{\text{Hz}}$	$10^{-7}\text{K}/\sqrt{\text{Hz}}$
Pressure	<ul style="list-style-type: none"><li>Strain in lattice</li></ul>	$10^{-12}/\sqrt{\text{Hz}}$	$10^{-11}/\sqrt{\text{Hz}}$
Electric Field	<ul style="list-style-type: none"><li>Stark</li></ul>	$10^{-4}\text{Vcm}^{-1}/\sqrt{\text{Hz}}$	$10^{-3}\text{Vcm}^{-1}/\sqrt{\text{Hz}}$
Electric Field, XY	<ul style="list-style-type: none"><li>Stark</li></ul>	$10^{-2}\text{Vcm}^{-1}/\sqrt{\text{Hz}}$	$10^{-1}\text{Vcm}^{-1}/\sqrt{\text{Hz}}$
Rotation	<ul style="list-style-type: none"><li>Collective precession of nuclear spin</li></ul>	-	$10^{-3}\text{deg}\sqrt{\text{hour}}$



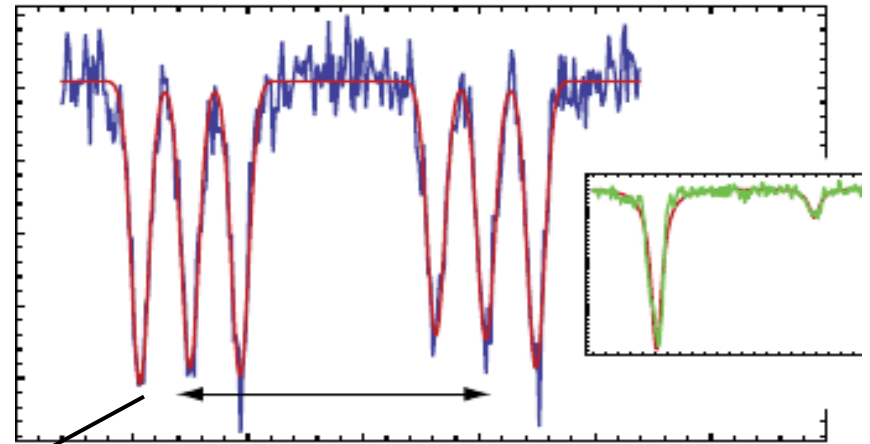
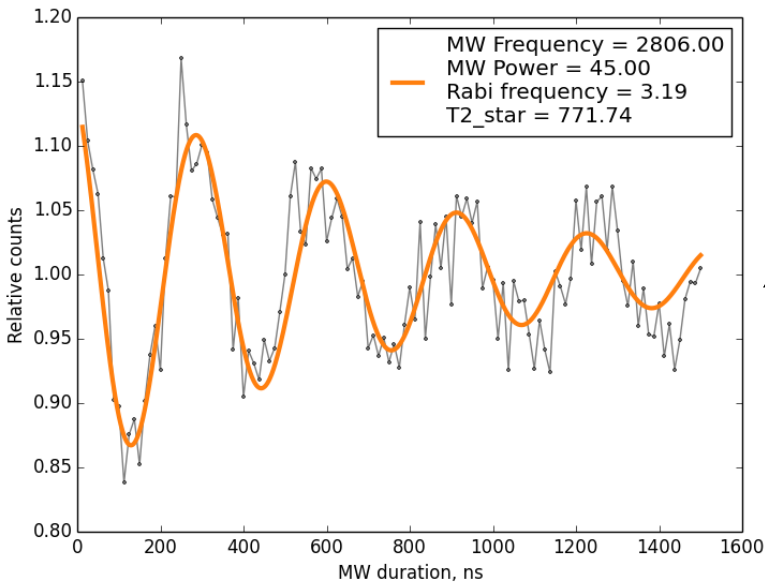
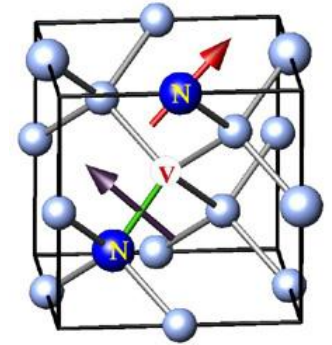
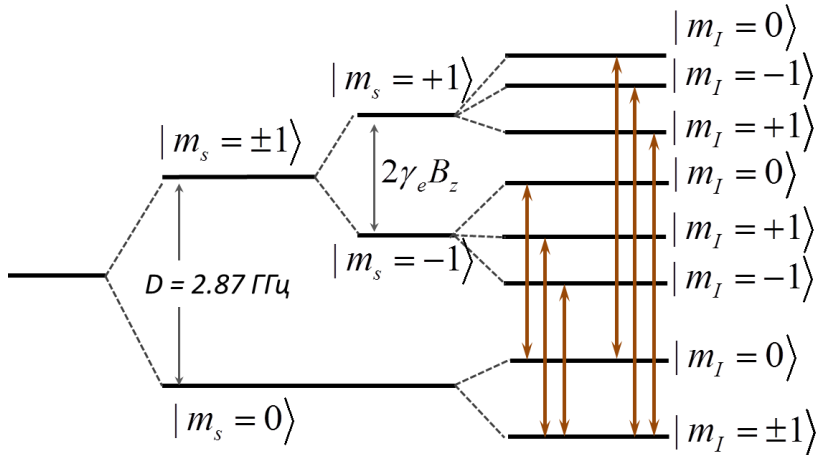
## Additional slides





1. Оптическая поляризация электронного спина
2. Оптическое считывание электронного спина

# NV центр в алмазе: спиновые свойства



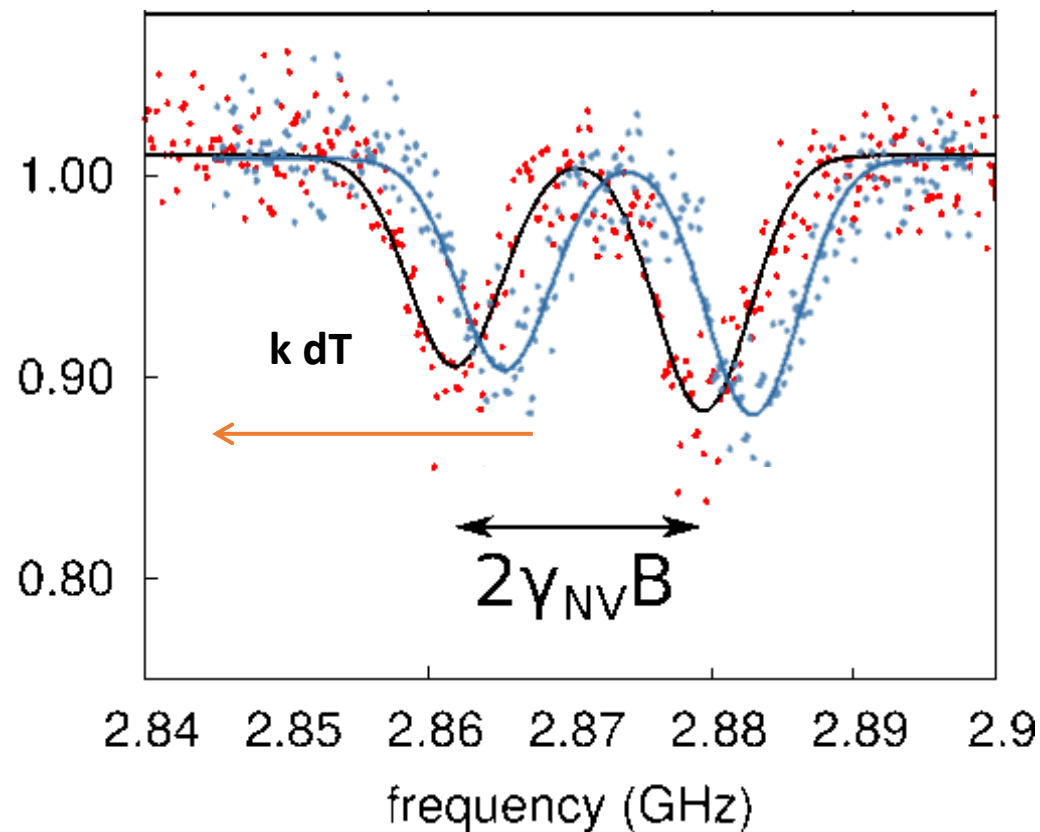
Частота СВЧ

1. Когерентное управление спиновым состоянием при комнатной температуре
2. Времена когерентности порядка 100 мкс, 1 мс.

# Пример реализации сенсора: Магнетометр + Термометр

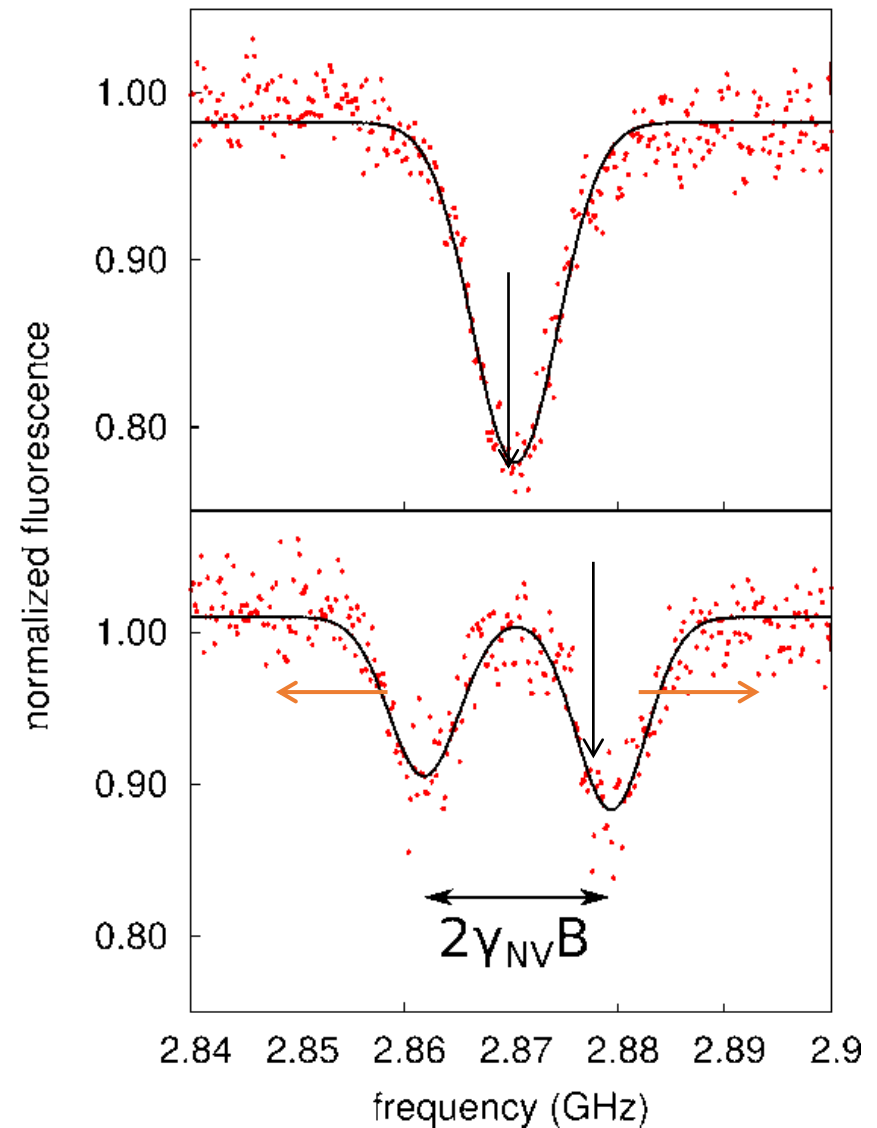
## Идея

- Магнитное поле расщепляет резонанс
- Температура сдвигает его
- Это можно измерять одновременно

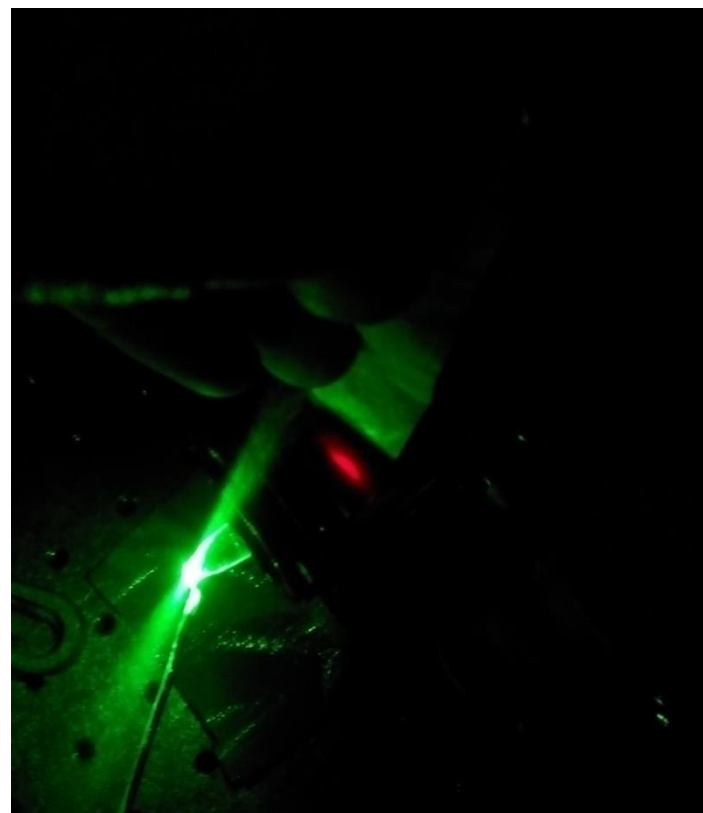
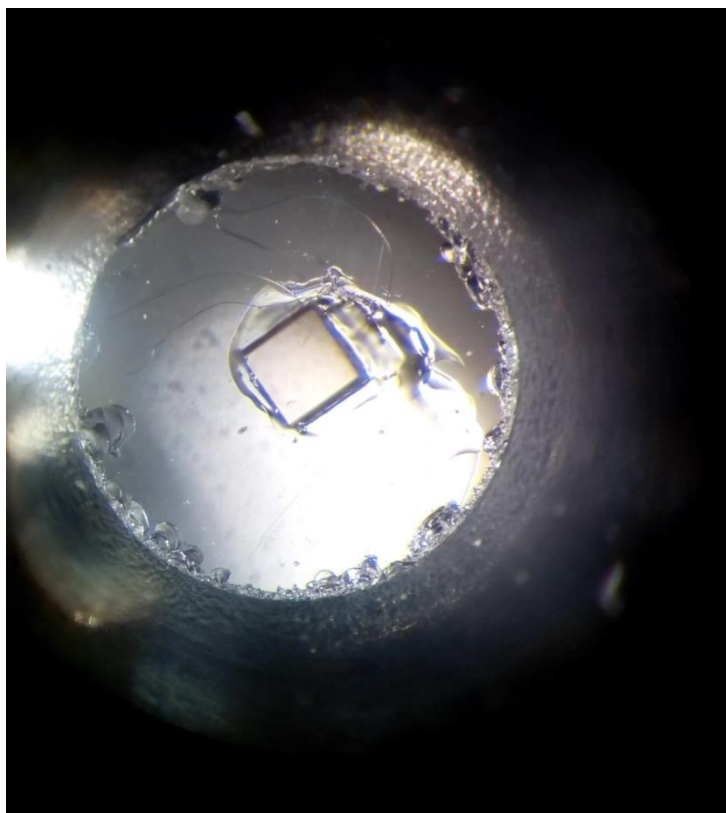


## Идея

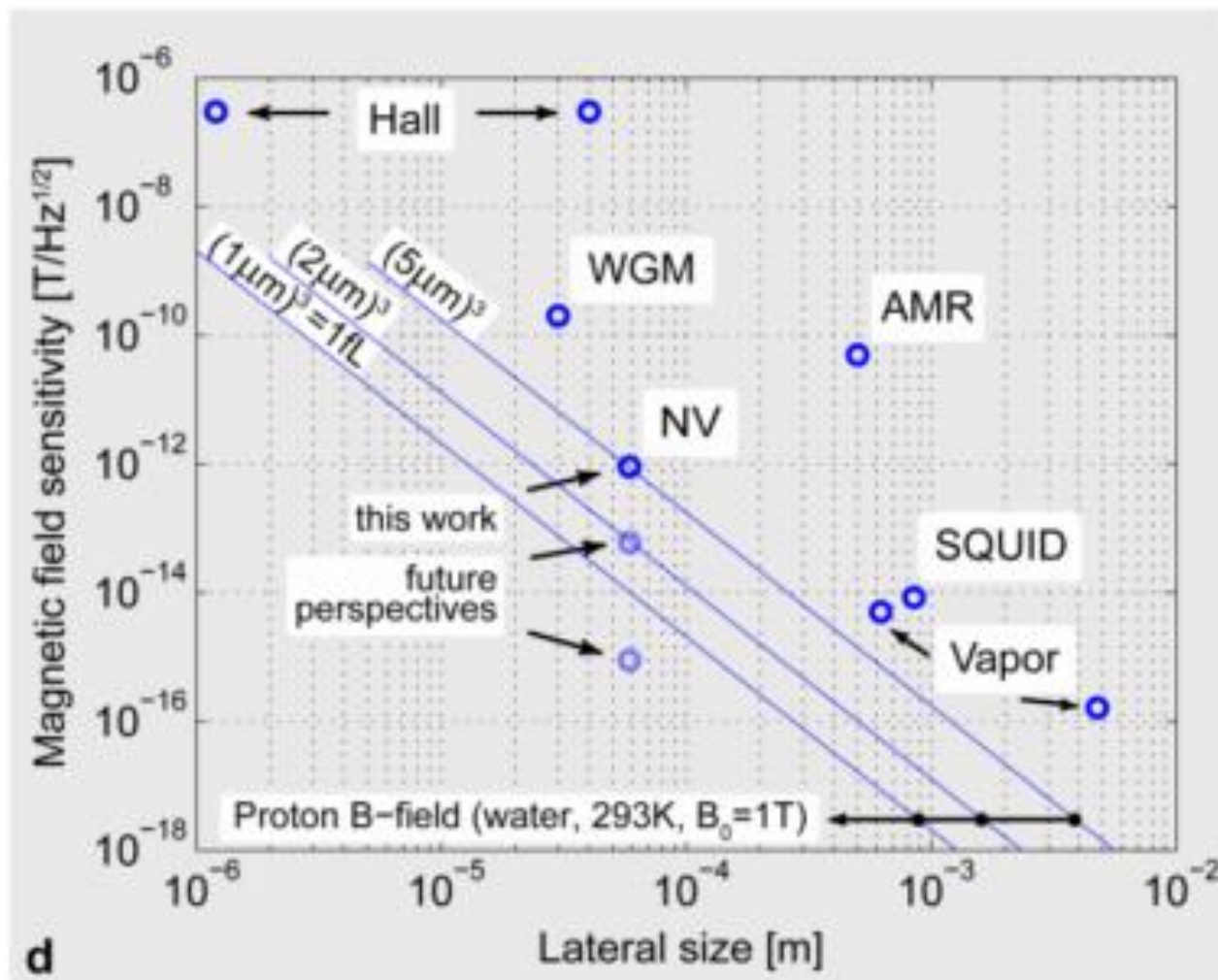
- ЭПР резонанс расщепляется в магнитном поле
- Две линии отвечают за состояние с проекцией спина  $m_s=1$ , и  $m_s=-1$
- Это может быть измерено напрямую (DC метод) или используя модуляцию (AC магнитометр)
- Может достигать нанометровой локализации
- По точности приближается к SQUID



HPHT sample ~ 1 ppm of NV  
centers 111 orientation



# Позиционирование NV центров на примере магнитометра



- Миниатюризация
- Совместимость с БИО

- Мультисенсор?