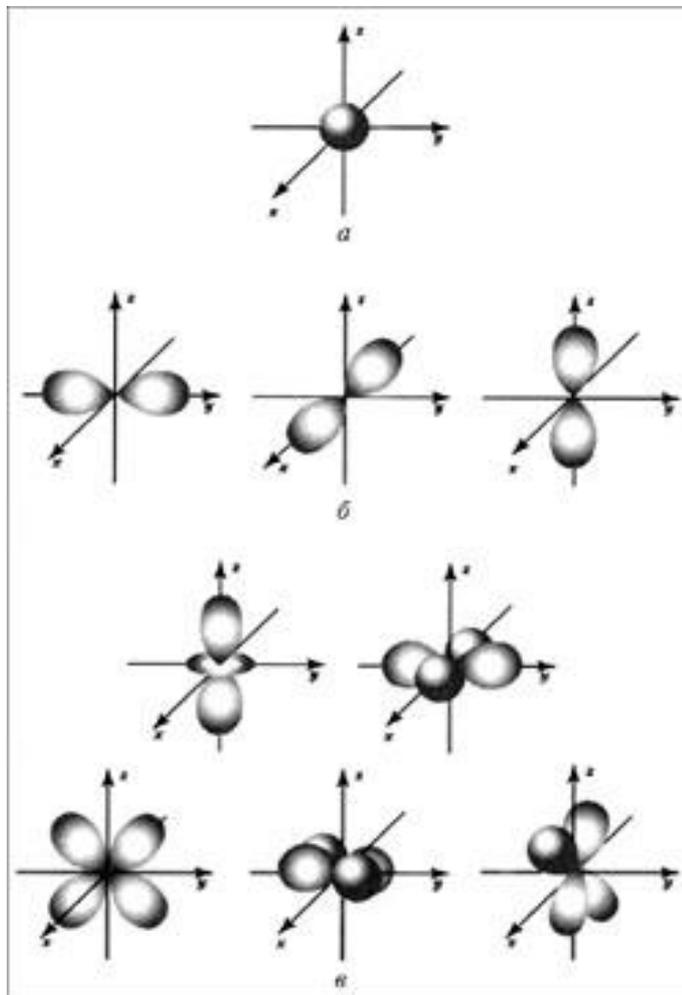


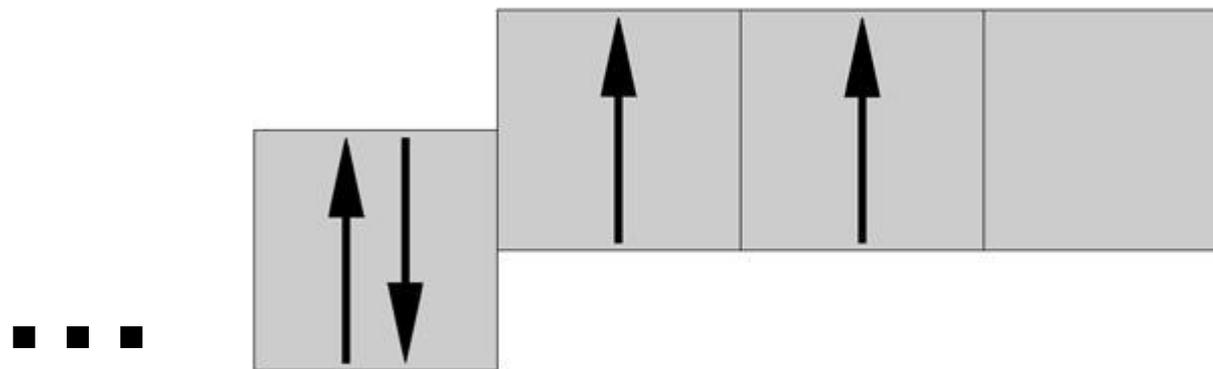
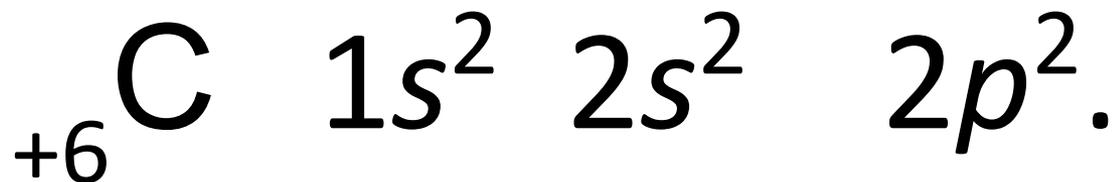
# Гибридизация

**Формы электронных облаков:**  
**а – s-электроны;**  
**б – p-электроны;**  
**в – d-электроны**

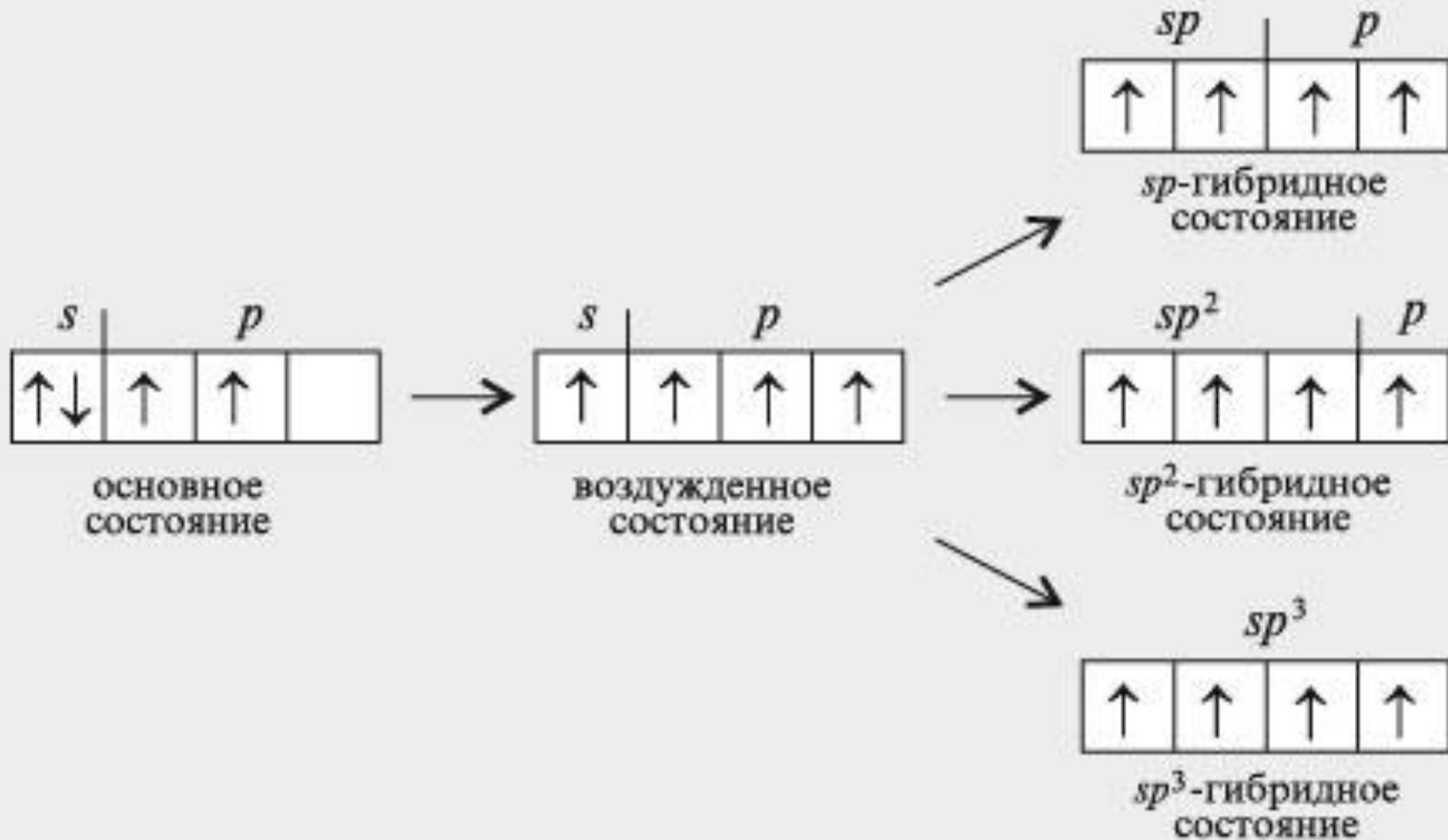


# Графическая электронная формула внешнего энергетического уровня атома углерода

- Электронная формула атома углерода:

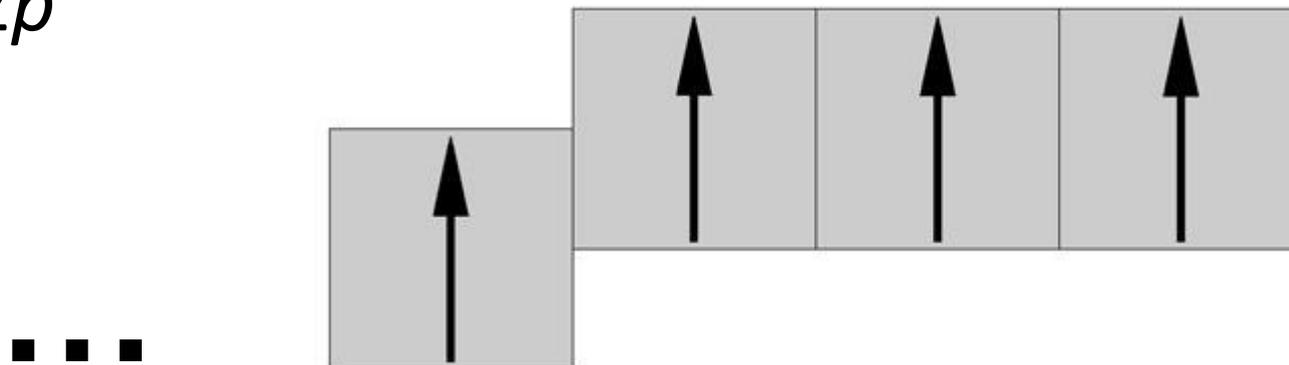


# Переход атома углерода в возбужденное и гибридное

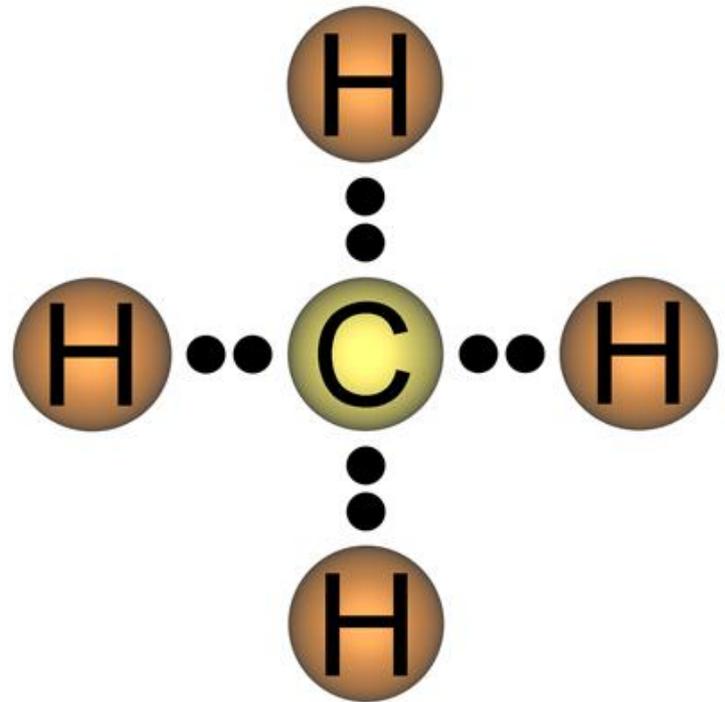


# Графическая электронная формула внешнего энергетического уровня атома углерода в возбужденном состоянии

- Атом углерода переходит в возбужденное состояние:  $C^* 1s^2 2s^1 2p^1 2p^1 2p^1$



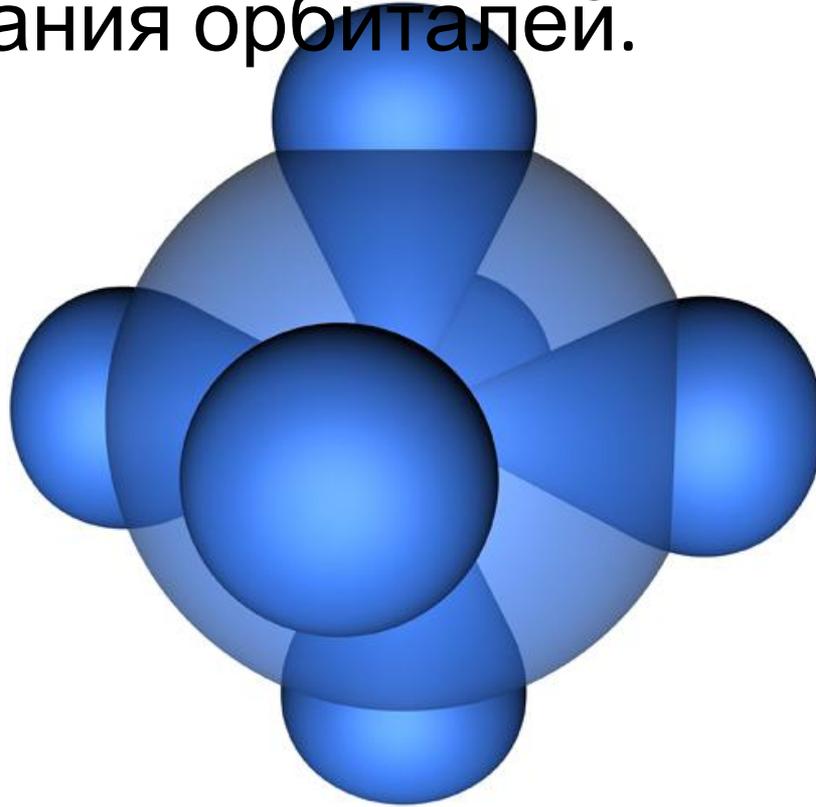
- Опыт показывает, что в молекулах, содержащих центральные атомы с различными валентными орбиталями, все связи равноценны.



Это объясняется  
явлением ***гибридизации***

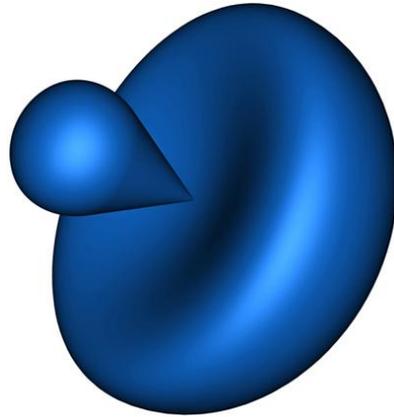


- ***Гибридизация атомных орбиталей*** – изменение формы и энергии орбиталей атома при образовании ковалентной связи для достижения более эффективного перекрывания орбиталей.



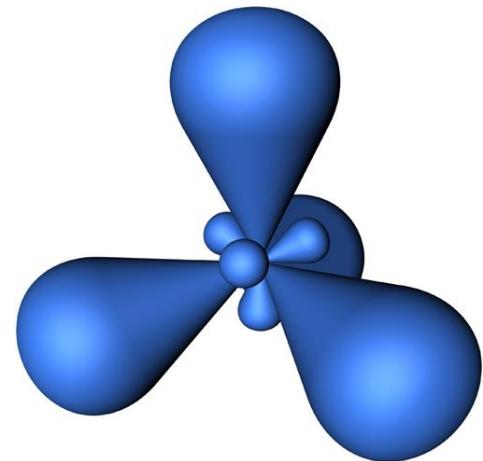
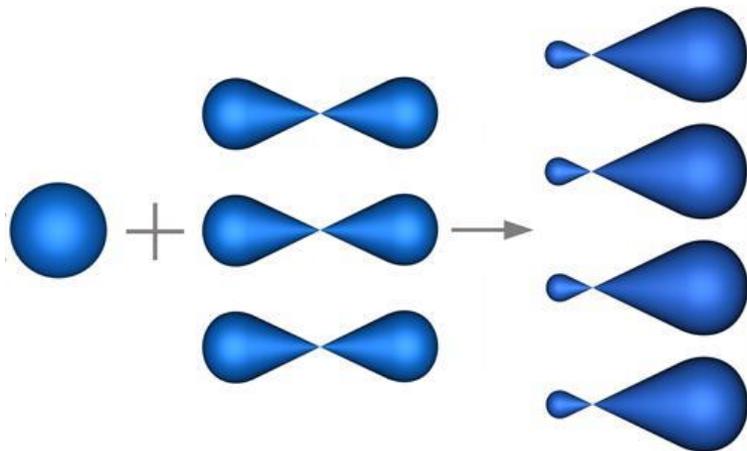
Понятие гибридизации является теоретическим и было введено ученым Лайнусом Полингом в 20-е годы XX века.

# Форма гибридной орбитали за счет комбинации $s$ - и $p$ -атомных орбиталей



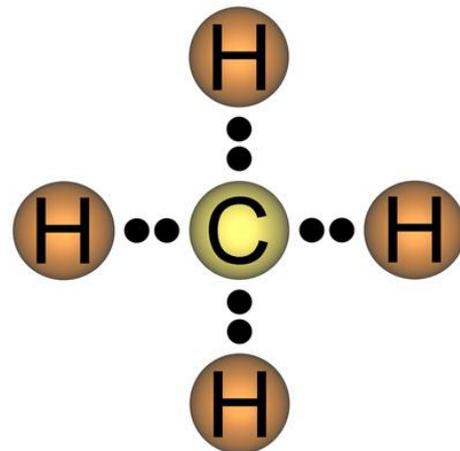
- гибридная орбиталь больше **вытянута** по одну сторону ядра, чем по другую
- **увеличивается её перекрывание** с электронными облаками взаимодействующего атома
- образуется **более прочная химическая связь**
- выделяется **дополнительная энергия**, которая **компенсирует затраты энергии** на

- Число гибридных орбиталей равно числу атомных орбиталей.
- Гибридные орбитали **одинаковы** по **форме** электронного облака и по **энергии**
- **Взаимодействие** между гибридными орбиталями должно быть **минимальным**,  
т. е. как можно дальше друг от друга



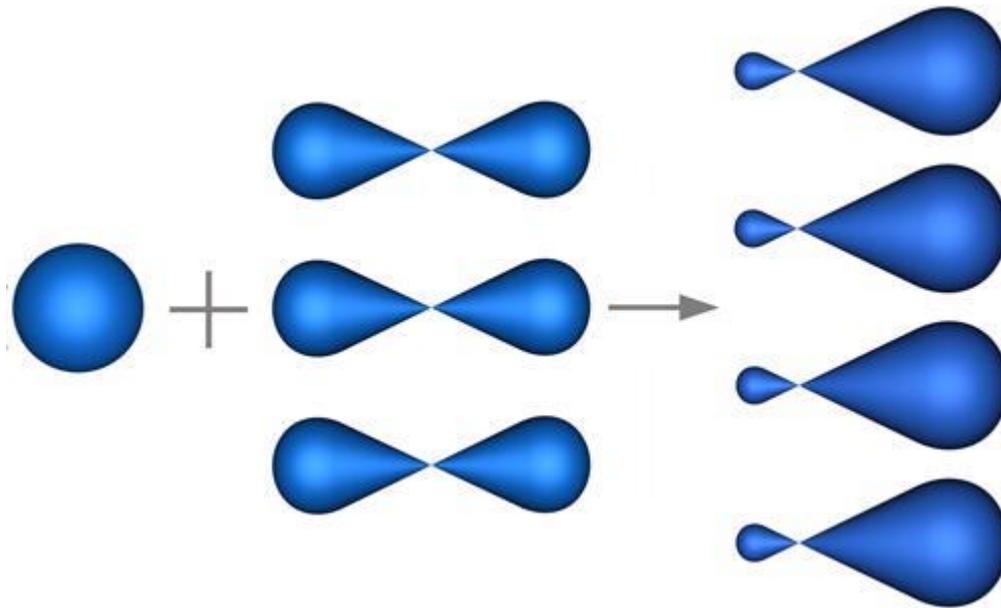
- 1 *s*-электрон и 3 *p*-электрона атома углерода образуют четыре одинаковых гибридных орбитали.

Этот тип гибридизации называется ***sp*<sup>3</sup>-гибридизацией**.

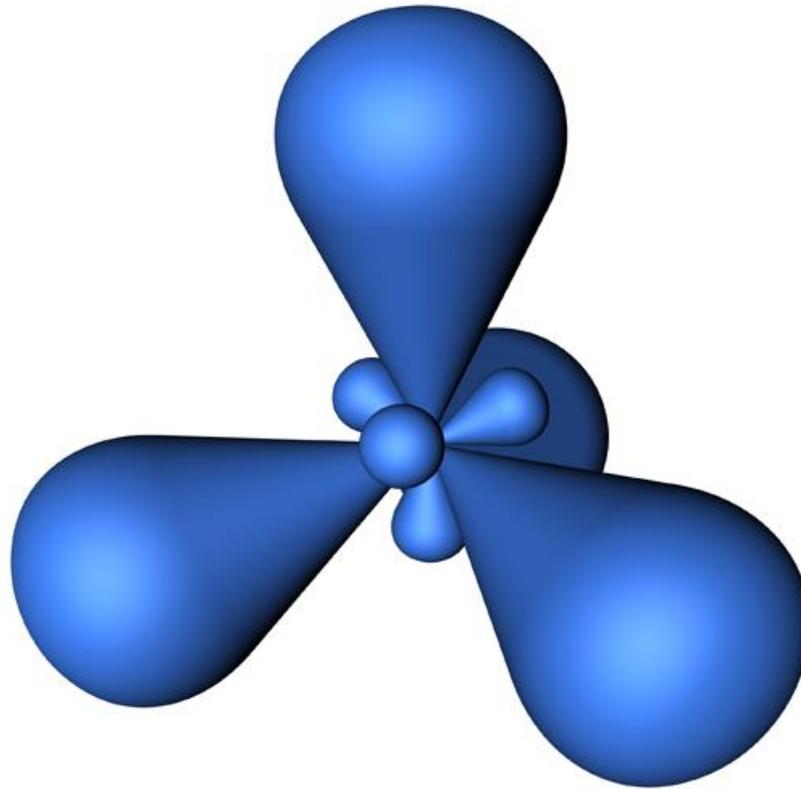


# Образование $sp^3$ -гибридных орбиталей

- **$sp^3$ -Гибридизация** – гибридизация, в которой участвуют атомные орбитали одного  $s$ - и трех  $p$ -электронов (рис. 1).

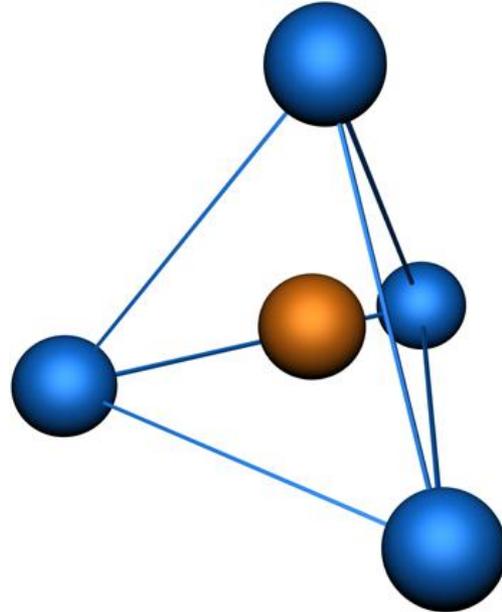


- Четыре  $sp^3$ -гибридные орбитали симметрично ориентированны в пространстве под углом  $109^\circ 28'$



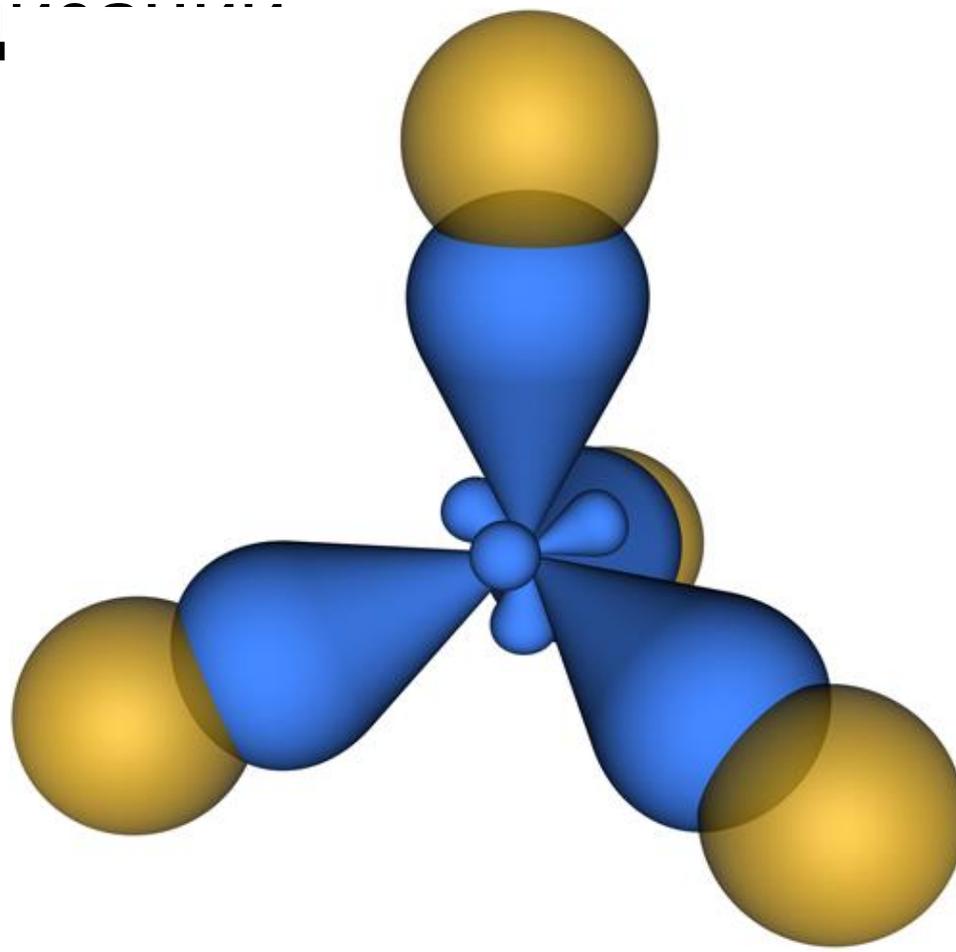
# Тетраэдрическая пространственная конфигурация молекулы

- центральный атом образован  $sp^3$ -гибридными орбиталями
- пространственная конфигурация – тетраэдр



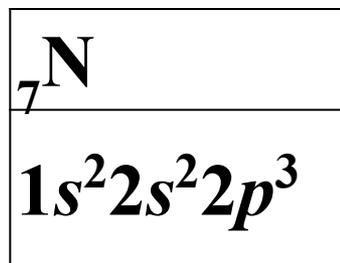
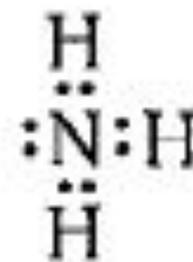
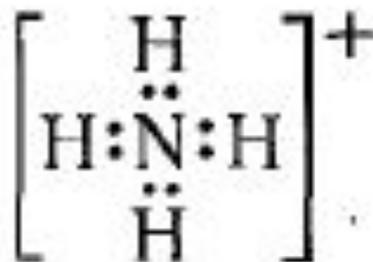
# Модель молекулы метана (CH<sub>4</sub>)

- углерода подвергается  $sp^3$ -гибридизации



- Однако не всегда пространственная конфигурация молекулы соответствует тетраэдру, это зависит от числа атомов в молекуле.

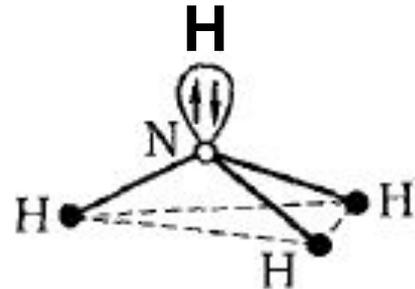
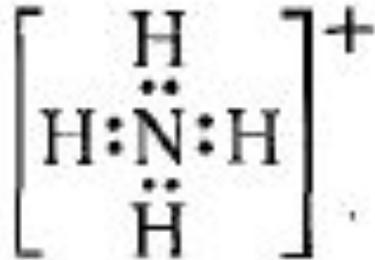
## ион $\text{NH}_4^+$ и молекула $\text{NH}_3$



Валентность атома азота  
– III

Пять электронов внешнего уровня занимают четыре орбитали - тип гибридизации –  $sp^3$

# ИОН $\text{NH}_4^+$



в ионе  $\text{NH}_4^+$  все вершины тетраэдра заняты атомами водорода, так что этот ион имеет тетраэдрическую конфигурацию с атомом азота в центре тетраэдра

Только три орбитали принимают участие в образовании химической связи

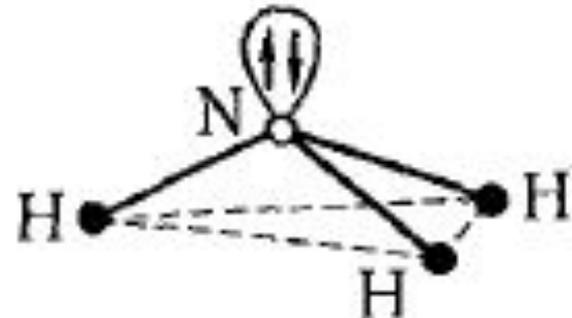
Тетраэдр без одной вершины превращается в пирамиду

# Молекула $\text{NH}_3$

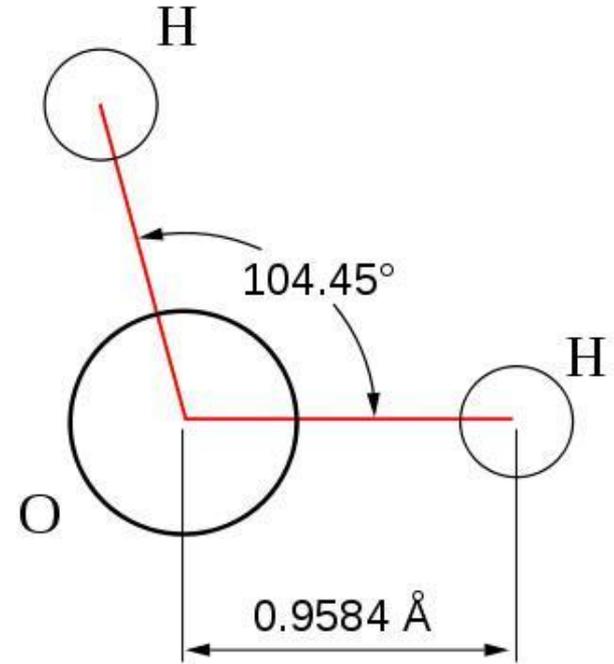
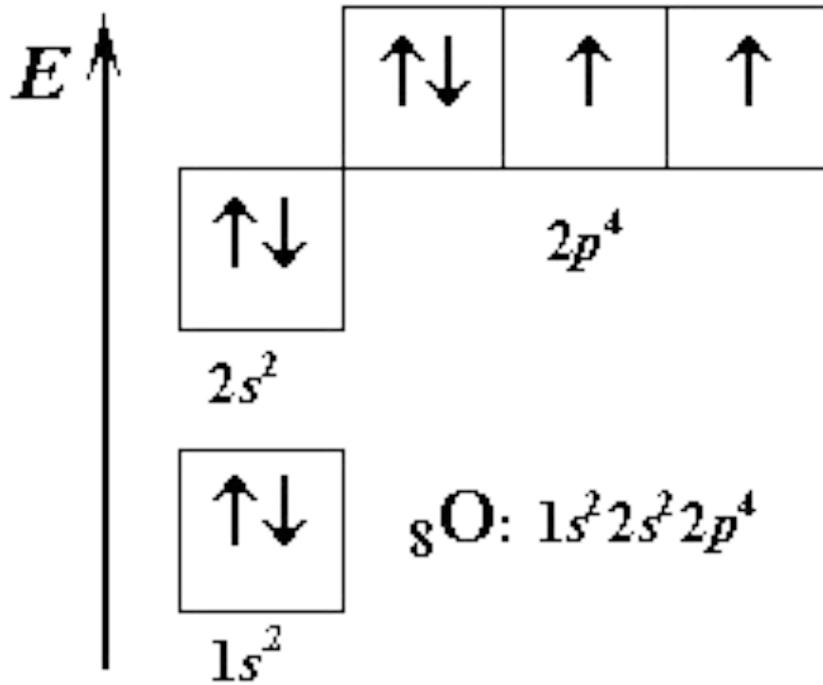
**тригональная пирамида** с атомом азота в ее вершине и атомами водорода в вершинах основания

- При образовании молекулы аммиака атомы водорода занимают только три вершины тетраэдра, а к четвертой вершине направлено электронное облако неподеленной электронной пары атома азота.

угол связи искажается до  $107^\circ 30'$



# Строение молекулы воды (H<sub>2</sub>O)



- кислород находится в  $sp^3$  гибридном состоянии,
- форма молекулы - угловая,
- угол связи составляет  $104^\circ 45'$ .

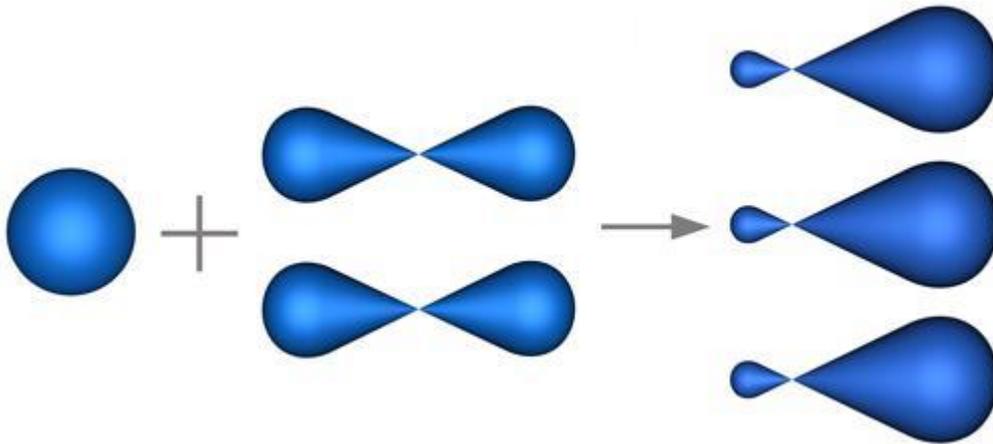
# Примеры соединений, для которых характерна $sp^3$ -

гибридизация:

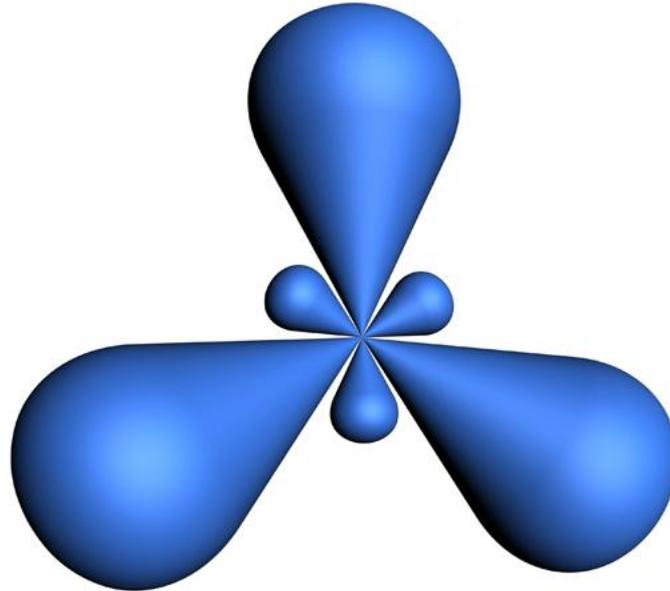
- $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $POCl_3$ ,  $SO_2F_2$ ,  $SOBr_2$ ,  $NH_4^+$ ,  $H_3O^+$ .
- предельные углеводороды (алканы, циклоалканы) и др. органические соединения:  $CH_4$ ,  $C_5H_{12}$ ,  $C_6H_{14}$ ,  $C_8H_{18}$  и др.

# $sp^2$ -Гибридизация

- **$sp^2$ -Гибридизация** – гибридизация, в которой участвуют атомные орбитали одного  $s$ - и двух  $p$ -электронов

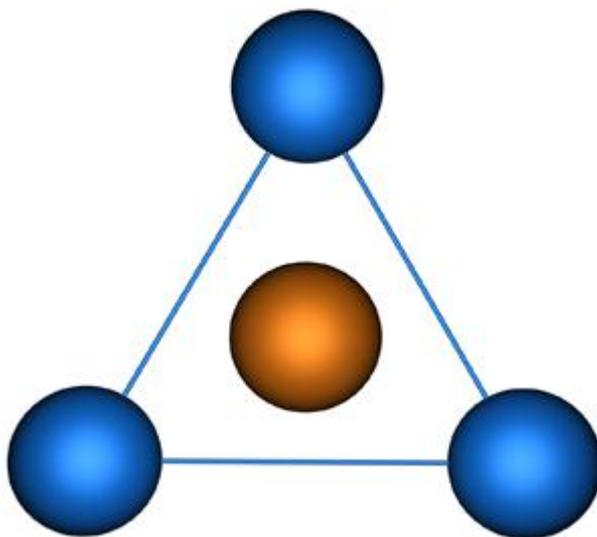


- образуются три гибридные  $sp^2$  орбитали, расположенные в одной плоскости под углом  $120^\circ$  друг к другу



# Пространственная конфигурация молекулы

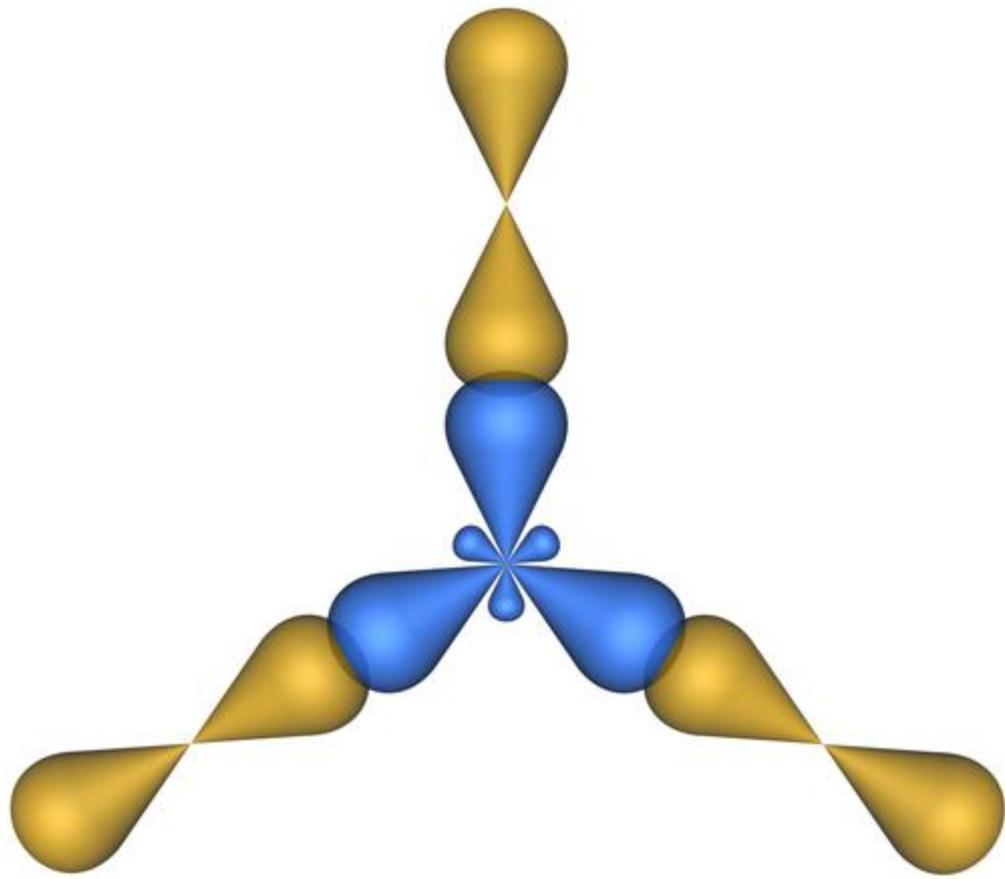
- центральный атом включает в себя  $sp^2$ -гибридные орбитали



# Модель молекулы $\text{BCl}_3$

${}_5\text{B}$

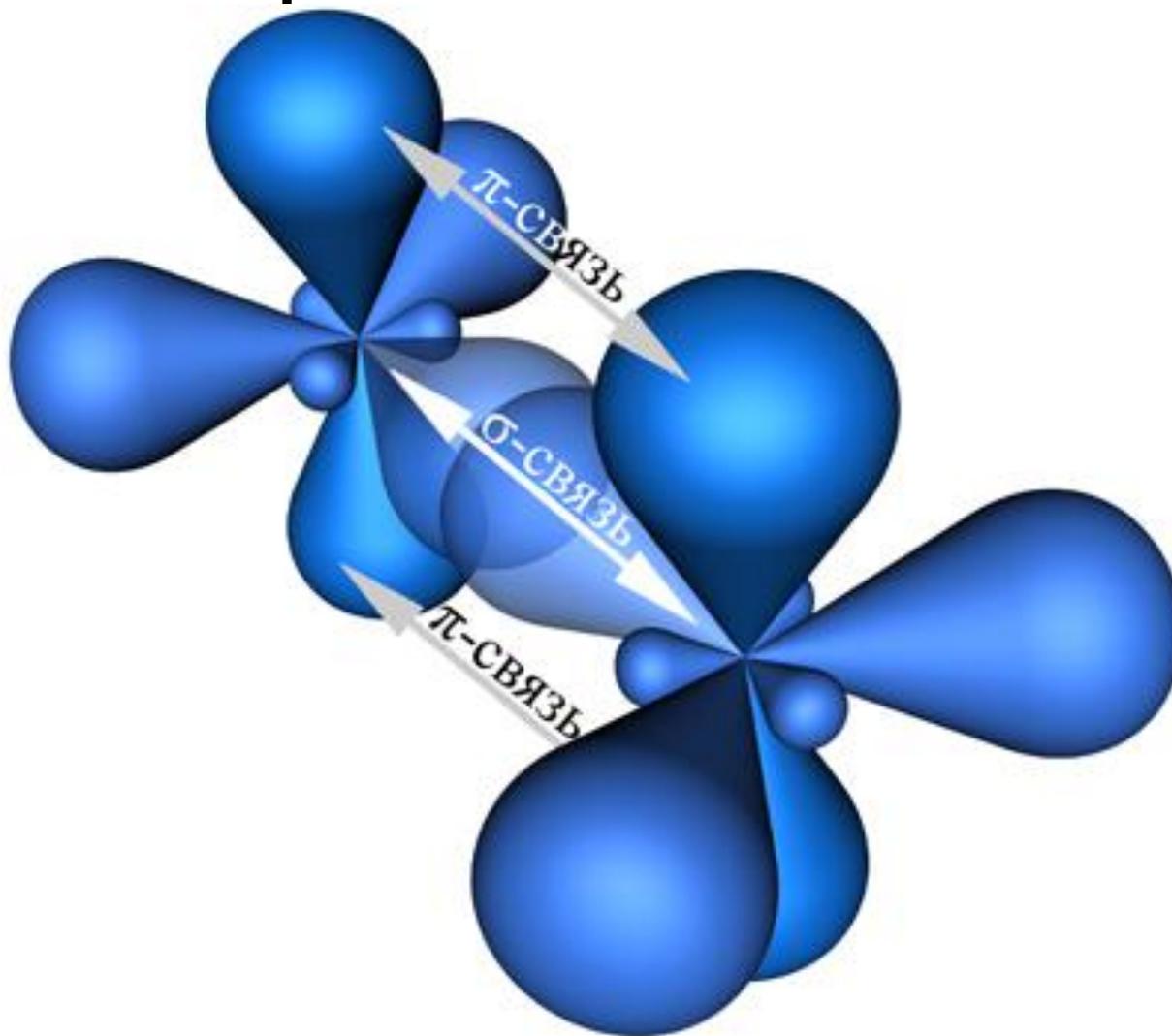
$1s^2 2s^2 2p^1$



- Атомы углерода, находящиеся во втором валентном состоянии ( $sp^2$ -гибридизация) связаны друг с другом двойными химическими связями. При  $sp^2$ -гибридизации атом углерода образует три  $\sigma$ -связи и одну  $\pi$ -связь с соседними атомами углерода



# $\sigma$ - и $\pi$ -перекрывание орбиталей между атомами с $sp^2$ -гибридными орбиталями

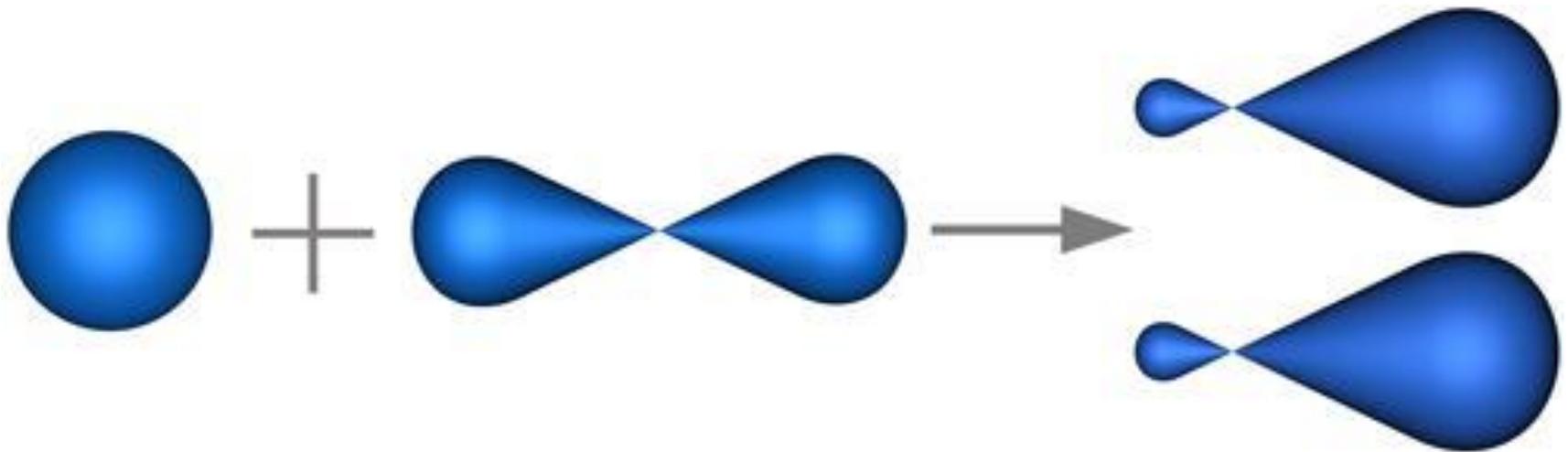


# Примеры соединений, в которых наблюдается $sp^2$ -гибридизация:

- $SO_3$ ,  $BCl_3$ ,  $BF_3$ ,  $AlCl_3$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $NO_3^-$ .
- все этиленовые углеводороды (алкены) (общая формула  $C_nH_{2n}$ ), карбоновые кислоты и ароматические углеводороды (аренов) и др. органические соединения:  
 $C_2H_4$  (этилен),  $C_4H_8$ ,  $C_6H_{12}$ ,  $C_6H_6$  (бензол),  
 $C_8H_{10}$ ,  $C_9H_{12}$ ,  $CH_3COOH$ ,  $C_6H_5OH$  (фенол),  
 $CH_2O$  (формальдегид),  $C_5H_9NO_4$   
(глутаминовая кислота) и др.

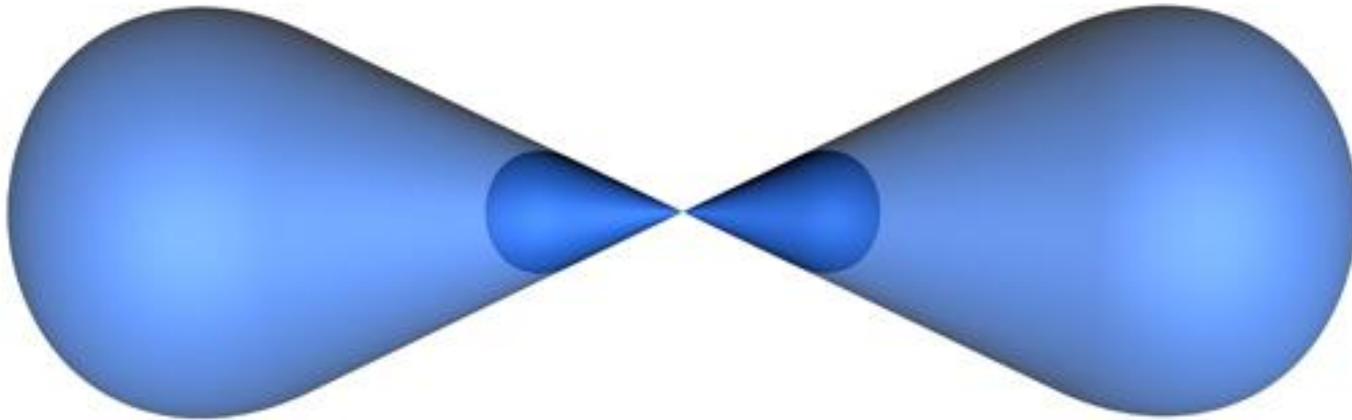
# Образование $sp$ -гибридных орбиталей

- ***sp-Гибридизация*** - это гибридизация, в которой участвуют атомные орбитали одного  $s$ - и одного  $p$ -электронов

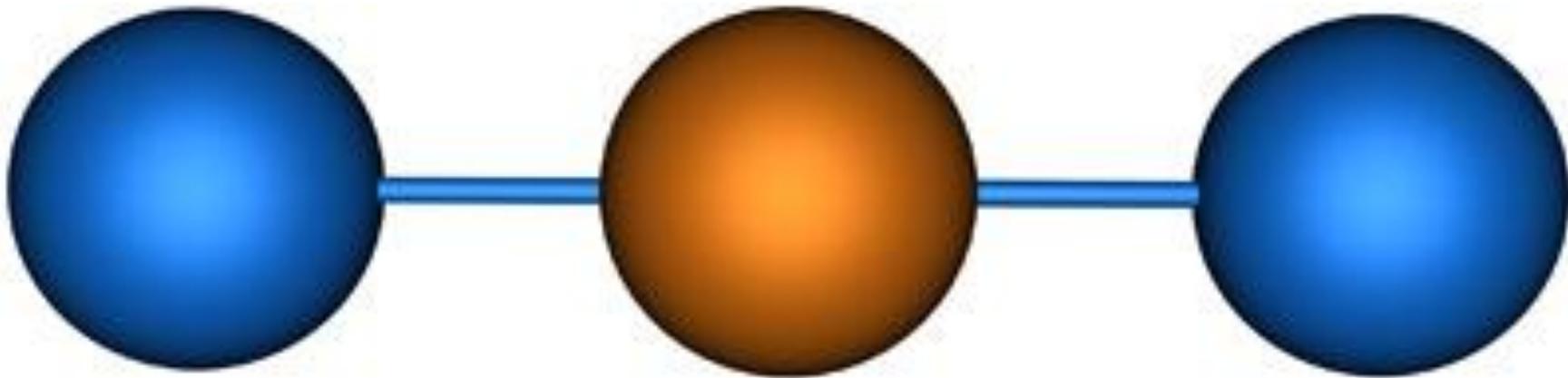


# Модель атома с *sp*-гибридными орбиталями

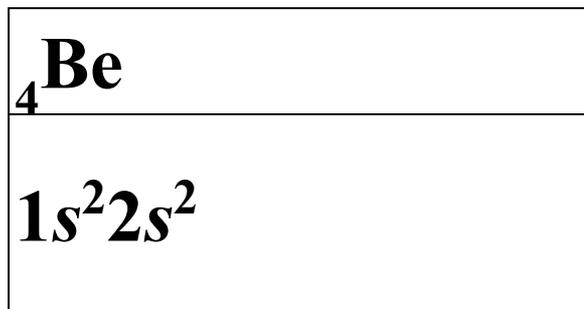
- образуются 2 гибридные орбитали, которые ориентируются друг к другу под углом  $180^\circ$



Пространственная конфигурация  
молекулы, центральный атом  
которой включает  $sp$ -гибридные  
орбитали



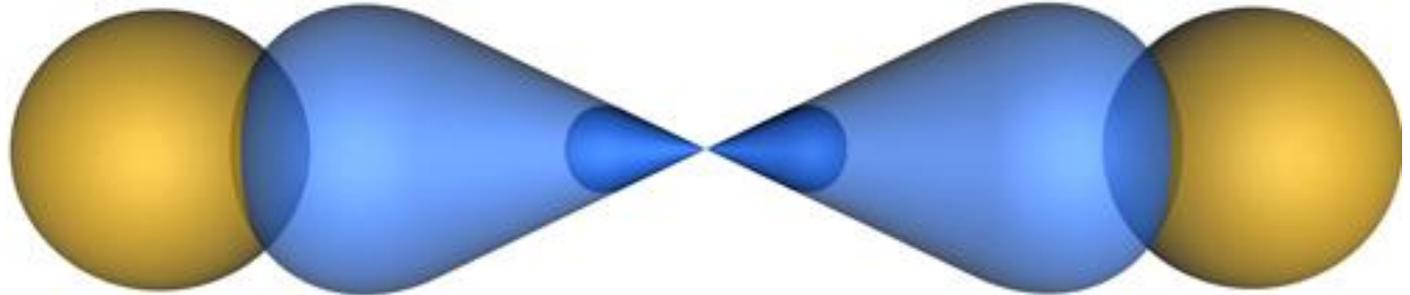
# Переход атома берилия в возбужденное и гибридное состояния



# Линейная форма молекулы



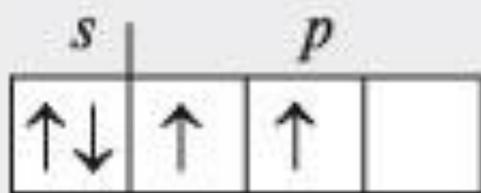
- атом бериллия образован гибридными *sp*-орбиталями



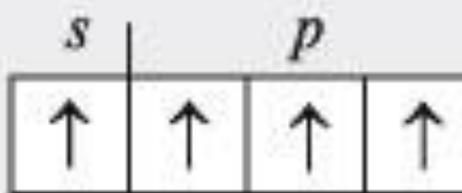
# Примеры химических соединений, для которых характерна *sp*-гибридизация:

- $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{BeH}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCN}$
- во всех ацетиленовых углеводородах (алкинах):  $\text{C}_2\text{H}_2$  (ацетилен),  $\text{C}_4\text{H}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{10}$  и т. д. (общая формула алкинов  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ ) и др. органических соединениях.

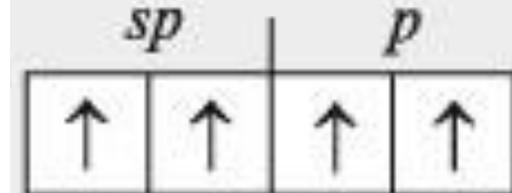
- В алкинах ***sp***-гибридизации подвергаются атомы углерода, соединяющиеся между собой **тройными связями**. При этом гибридные орбитали атомов углерода образуют две  $\sigma$ -связи с соседними атомами, а негибридные орбитали атомов углерода образуют две  $\pi$ -связи.



основное состояние



возбужденное состояние

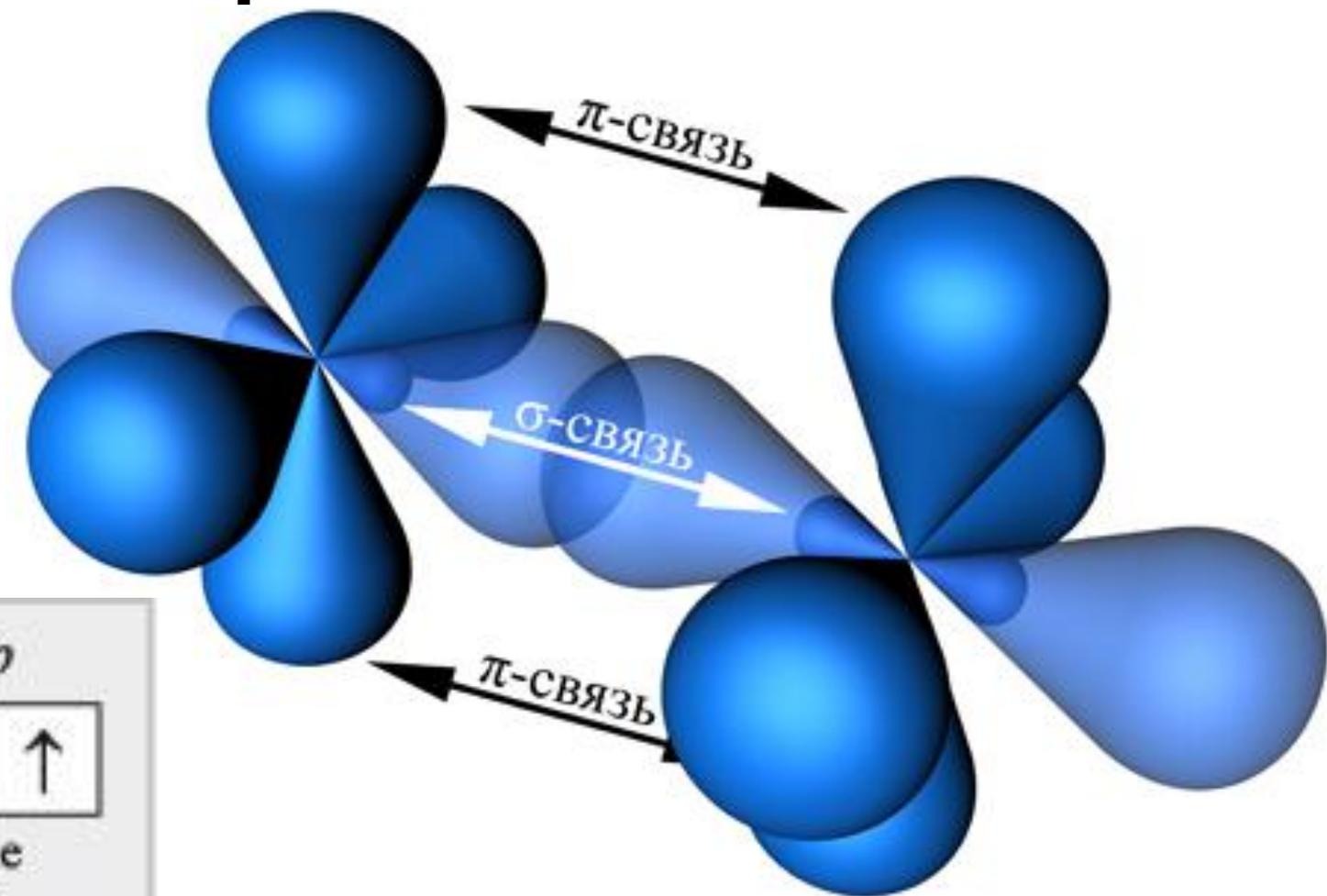


*sp*-гибридное состояние

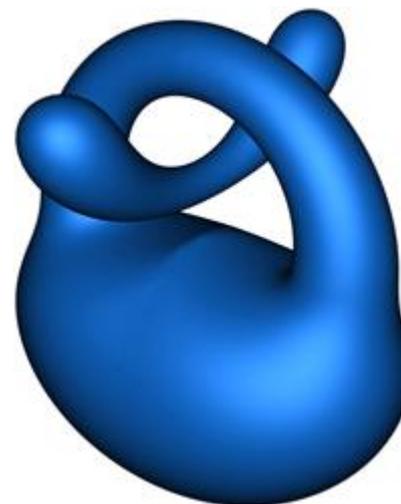
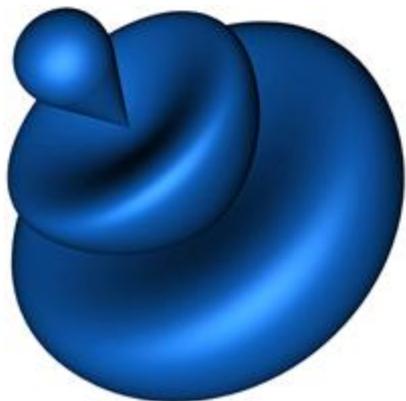
гибридные орбитали

негибридные орбитали

# $\sigma$ - и $\pi$ -перекрывание орбиталей между атомами с $sp$ -гибридными орбиталями



# Возможные формы гибридной орбитали за счет комбинации $s$ -, $p$ - и $d$ -атомных орбиталей



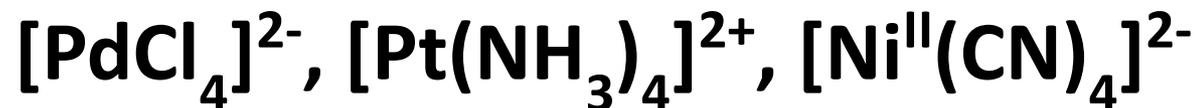
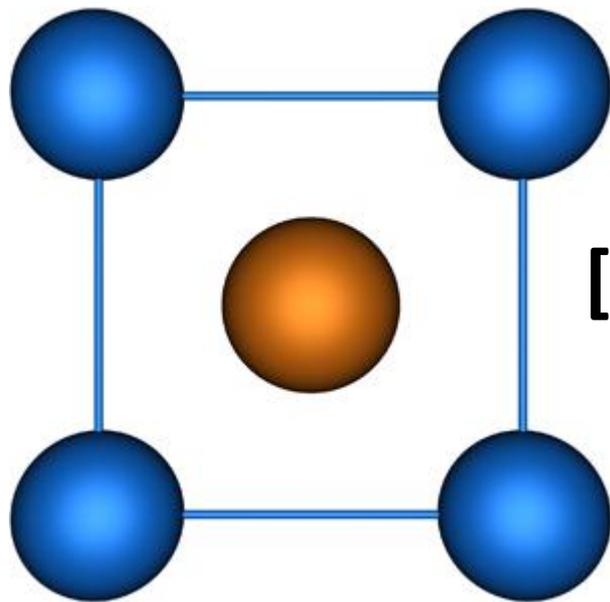
Форма этой орбитали зависит от магнитного квантового числа, характеризующего орбиталь.

# Расположение гибридных орбиталей в атоме

$sp$	$sp^2$	$sp^3$	$sp^3d^2$	Вид гибридизации
2	3	4	6	Число гибридных облаков
				Направление ориентации гибридных облаков

- $sp$ -гибридизация - электронные облака ориентируются в противоположных направлениях
- $sp^2$ -гибридизация — в направлениях, лежащих в одной плоскости и составляющих друг с другом углы в  $120^\circ$  (т. е. в направлениях к вершинам правильного треугольника),
- $sp^3$ -гибридизация — к вершинам тетраэдра (угол между этими направлениями составляет  $109^\circ 28'$ )
- $sp^3d^2$  — гибридизация — к вершинам октаэдра (т. е. по взаимно перпендикулярным направлениям).

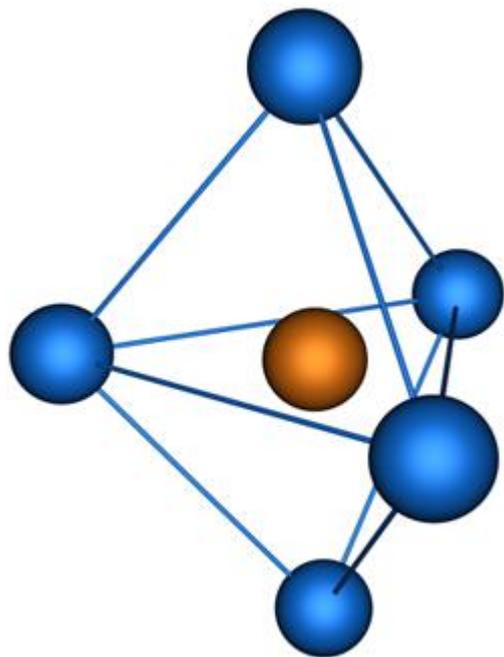
Тетрагональная пространственная конфигурация молекулы, центральный атом которой включает  $sp^2d$ -гибридные орбитали



- $sp^2d$ -Гибридизация – тип гибридизации, в которой участвуют атомные орбитали одного  $s$ -, двух  $p$ - и одного  $d$ -электронов.

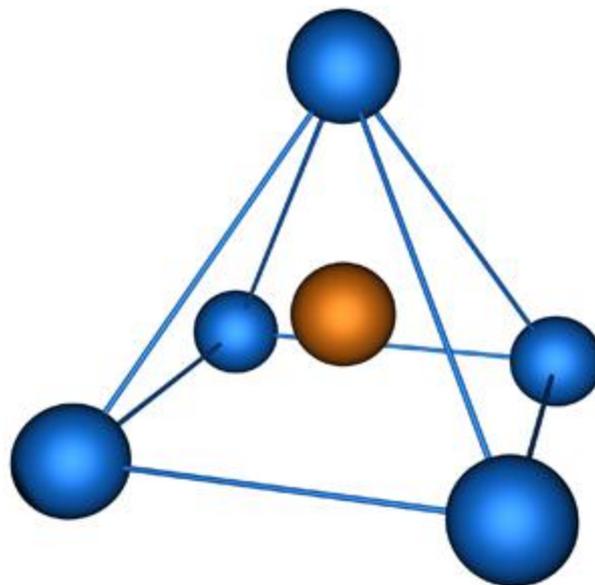
**$sp^3d$ -Гибридизация** – тип гибридизации, в которой участвуют атомные орбитали одного  $s$ -, трех  $p$ - и одного  $d$ -электронов.

тригонально-  
бипирамидальная



$\text{PF}_5$ ,  $\text{PCl}_5$ ,  $\text{SbCl}_5$ ,  $[\text{Fe}^0(\text{CO})_5]^0$

пирамидальная форму

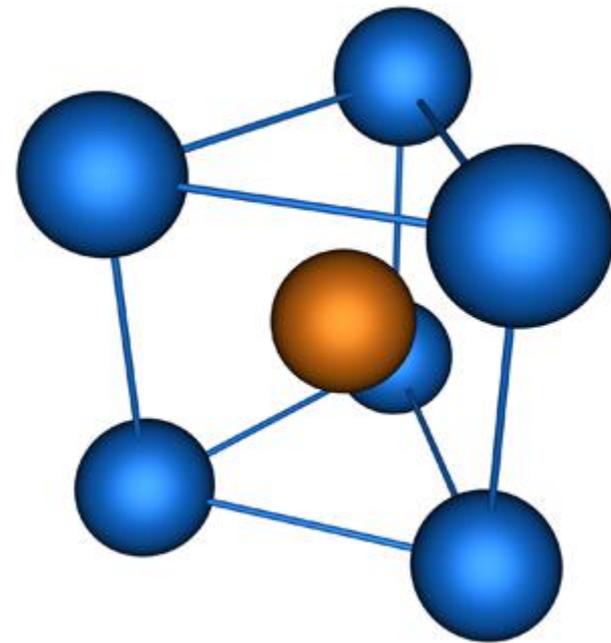
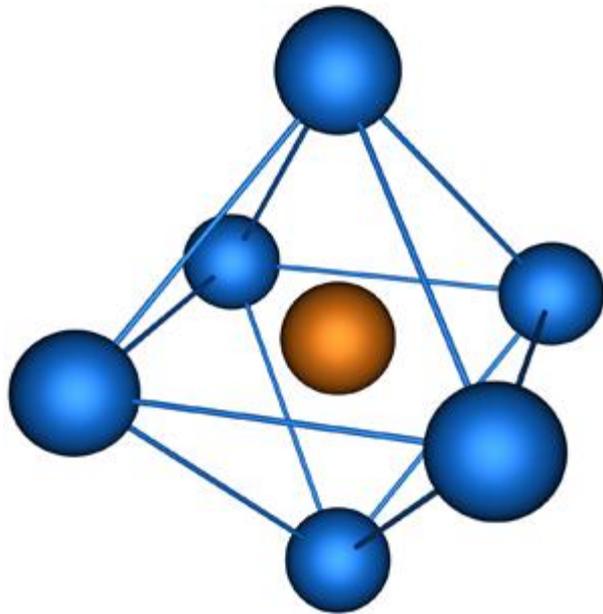


$\text{Sb}(\text{C}_6\text{H}_5)_5$

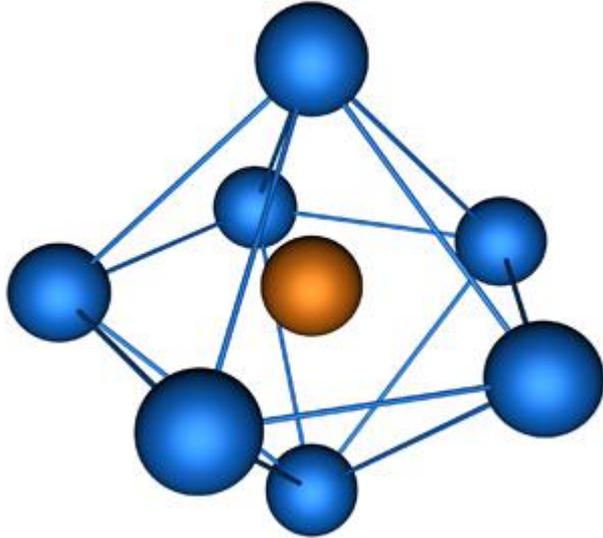
**$sp^3d^2$ -Гибридизация** - тип гибридизации, в которой участвуют атомные орбитали одного  $s$ -, трех  $p$ - и двух  $d$ -электронов

**Октаэдрическая**

**Тригонально-призматическая**



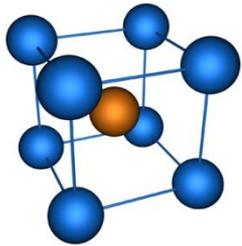
**$sp^3d^3$ -Гибридизация** - тип гибридизации, в которой участвуют атомные орбитали одного  $s$ -, трех  $p$ - и трех  $d$ -электронов.



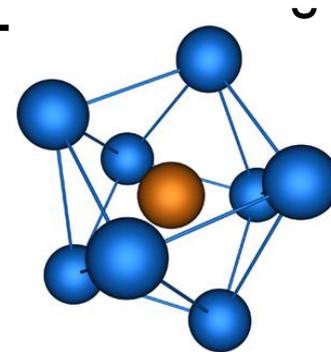
**Пентагонально-бипирамидальная пространственная конфигурация молекулы  $\text{XeF}_6$ ,  $\text{IF}_7$ ,  $\text{ZrF}_7^{3-}$ ,  $\text{UF}_7^{3-}$**

**$sp^3d^4$ -Гибридизация** - тип гибридизации, в которой участвуют атомные орбитали одного  $s$ -, трех  $p$ - и четырех  $d$ -электронов.

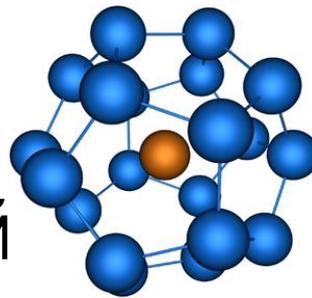
- Пространственная конфигурация молекулы может быть кубической ( $\text{PbF}_8^{4-}$ ),



- тетрагонально-антипризмат ( $\text{TaF}_8^{3-}$ )



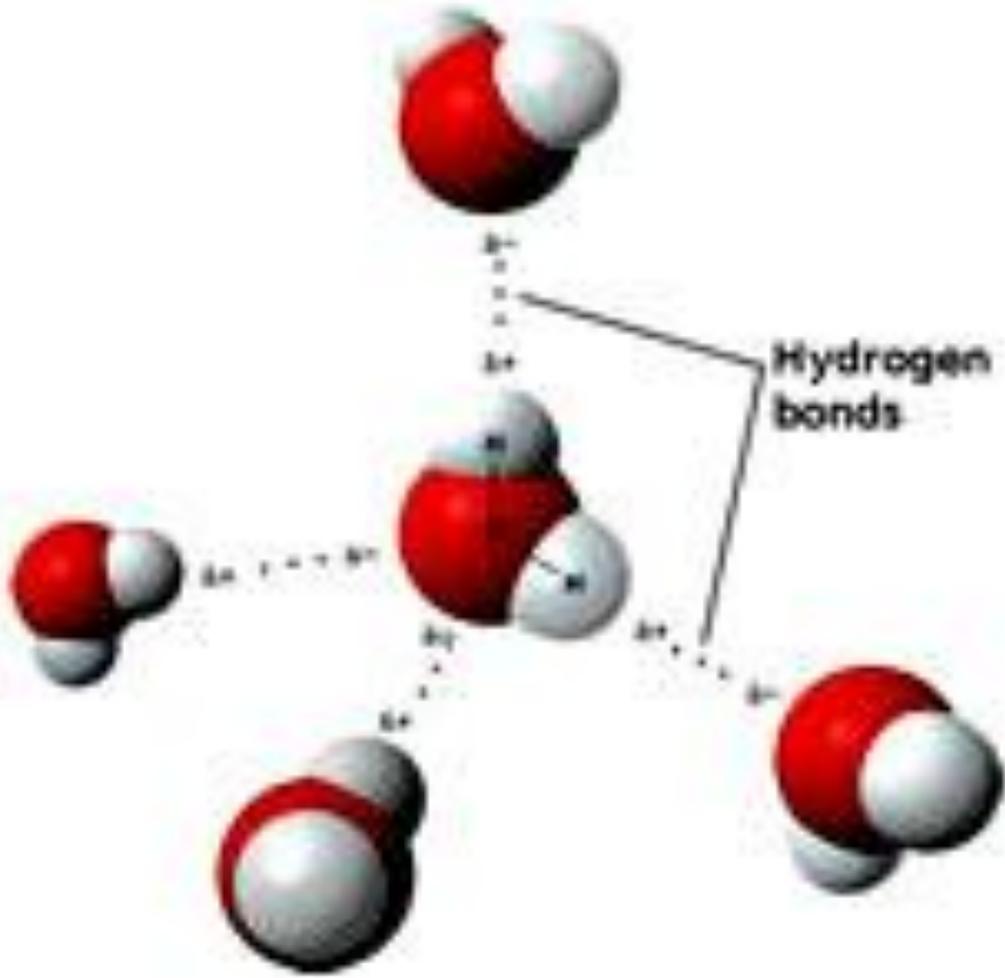
- додекаэдрической



# Использованы материалы:

- <http://hybridation.ru/hybridization.htm#td1>
- <http://him.1september.ru/article.php?ID=200501001>
- <http://abc88.ru/voda1.html>
- <http://www.alhimik.ru/teleclass/glava3/gl-3-4.shtml>
- [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_issue\\_11\\_2008\\_Supercooled\\_water.htm](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_11_2008_Supercooled_water.htm)
- [http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Water\\_Molecule\\_Formula.png](http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Water_Molecule_Formula.png)

<b><sub>3</sub>Li</b>	<b><sub>4</sub>Be</b>	<b><sub>5</sub>B</b>	<b><sub>6</sub>C</b>	<b><sub>7</sub>N</b>	<b><sub>8</sub>O</b>	<b><sub>9</sub>F</b>	<b><sub>10</sub>Ne</b>
<b>1s<sup>2</sup></b>	<b>1s<sup>2</sup>2s</b>	<b>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup></b>	<b>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup></b>	<b>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup></b>	<b>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup></b>	<b>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup></b>	<b>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup></b>
<b>2s<sup>1</sup></b>	<b>2</b>	<b>2p<sup>1</sup></b>	<b>2p<sup>2</sup></b>	<b>2p<sup>3</sup></b>	<b>2p<sup>4</sup></b>	<b>2p<sup>5</sup></b>	<b>2p<sup>6</sup></b>



Hydrogen bonds in water

