

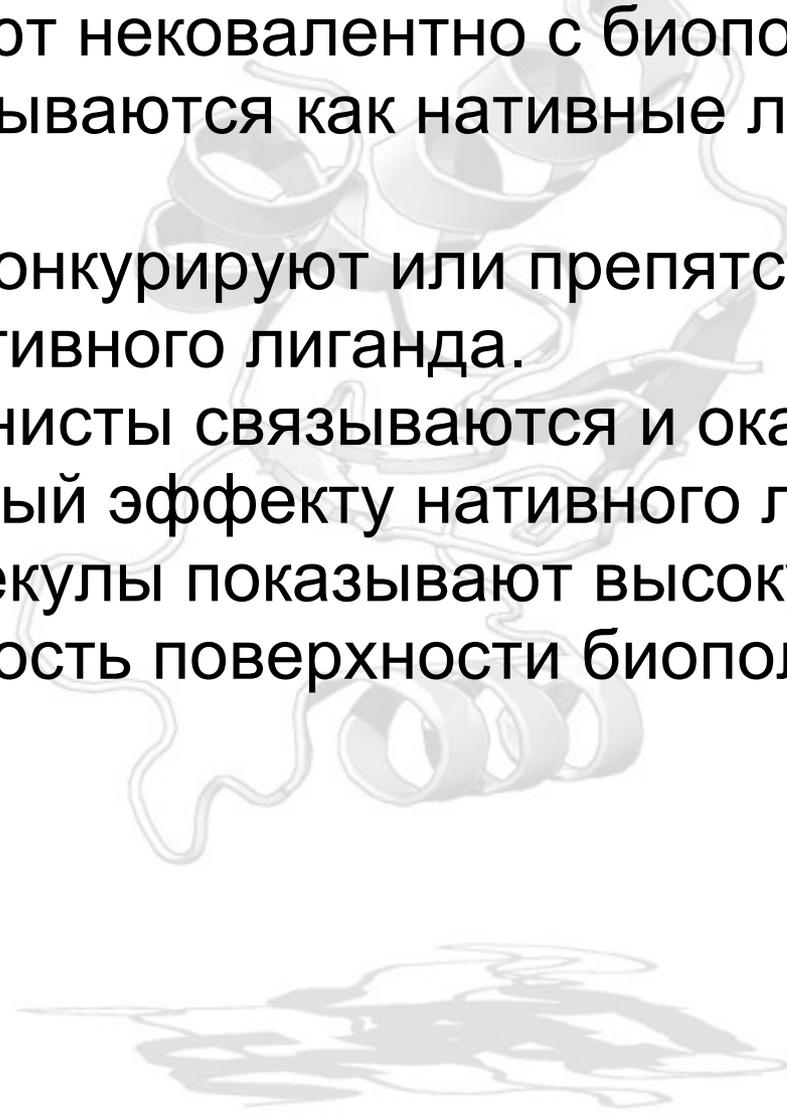


**Молекулярное моделирование в
применении к биомолекулам**

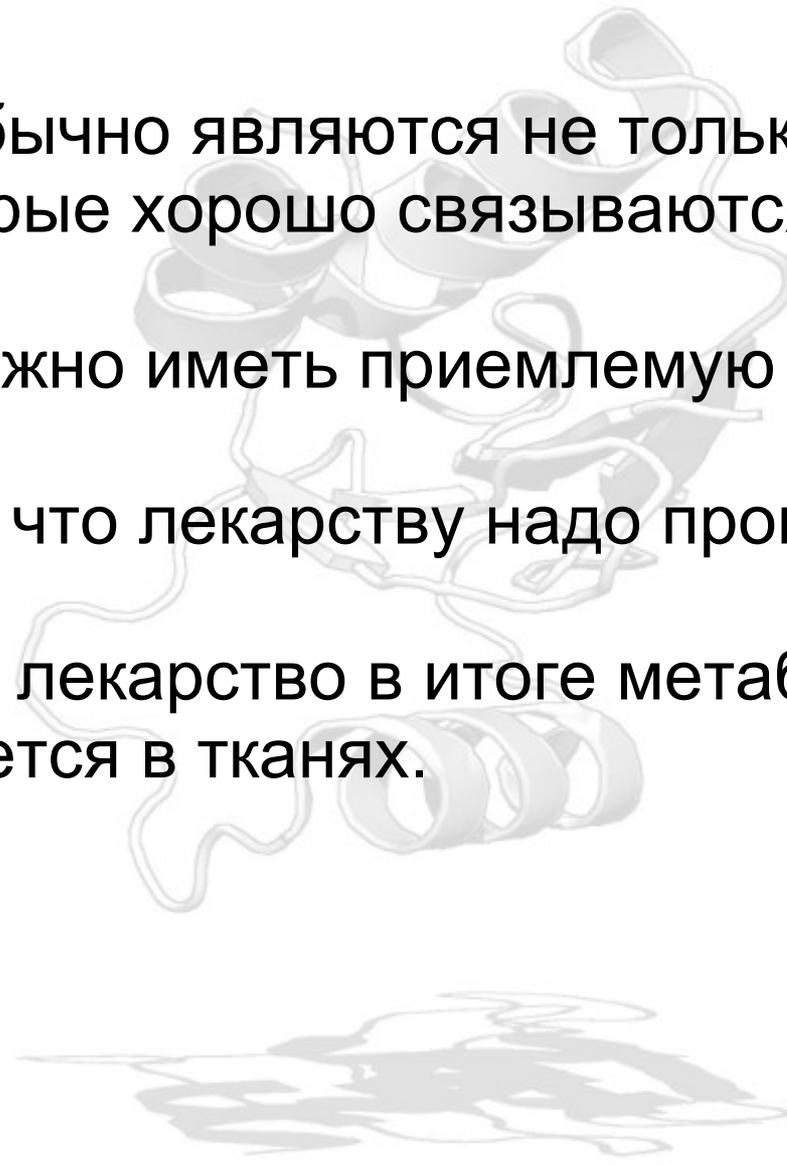
Лекция 12

**Поиск новых био-активных молекул
и химоинформатика**

Активные молекулы

- В основном биологически активные молекулы взаимодействуют нековалентно с биополимерами.
 - Агонисты связываются как нативные лиганды и дают тот же эффект.
 - Антагонисты конкурируют или препятствуют связыванию нативного лиганда.
 - Обратные агонисты связываются и оказывают эффект, обратный эффекту нативного лиганда.
 - Хорошие молекулы показывают высокую комплементарность поверхности биополимера.
- 
- A faint, light gray background image of a protein structure, likely a G-protein coupled receptor (GPCR), is visible behind the text. It shows a complex 3D fold with several alpha-helices and a beta-sheet, typical of a transmembrane protein.

Свойства лекарства

- Лекарством обычно являются не только те молекулы, которые хорошо связываются с биополимером.
 - Лекарство должно иметь приемлемую растворимость.
 - Часто бывает, что лекарству надо проникнуть сквозь мембрану.
 - Хорошо когда лекарство в итоге метаболизируется, а не накапливается в тканях.
- 

Как искать активные молекулы?

- Можно пытаться искать вещества в биоматериалах.
- Можно проводить роботизированное сканирование библиотеки соединений на активность в разных тестах.
- Недостаток сканирования: не все тесты можно адаптировать под робота.
- Возможен высокий уровень шума из-за неспецифических взаимодействий
- Можно применить фильтрацию по подобию соединений, для этого нужны ИТ.

Компьютерное представление молекул

- Хранение в компьютере молекулы как изображения имеет малую ценность.
- Большинство современных баз данных представляет молекулу как граф, с узлами и рёбрами.
- Графы представляются как таблицы связей.

Marvin 04200617372D

```
4 3 0 0 0 0      999 V2000
0.0000  0.0000  0.0000 C  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0.7145 -0.4125  0.0000 O  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
-0.7145 -0.4125  0.0000 C  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0.0000  0.8250  0.0000 O  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
1 4 2 0 0 0 0
2 1 1 0 0 0 0
3 1 1 0 0 0 0
M END
```

Линейное представление молекул, SMILES

- Молекула представляется в виде диаграммы и каждый атом проходится только один раз

<chem>CC</chem>	ethane	<chem>[OH3+]</chem>	hydronium ion
<chem>O=C=O</chem>	carbon dioxide	<chem>[2H]O[2H]</chem>	deuterium oxide
<chem>C#N</chem>	hydrogen cyanide	<chem>[235U]</chem>	uranium-235
<chem>CCN(CC)CC</chem>	triethylamine	<chem>F/C=C/F</chem>	E-difluoroethene
<chem>CC(=O)O</chem>	acetic acid	<chem>F/C=C\F</chem>	Z-difluoroethene
<chem>C1CCCCC1</chem>	cyclohexane	<chem>N[C@@H](C)C(=O)O</chem>	L-alanine
<chem>c1ccccc1</chem>	benzene	<chem>N[C@H](C)C(=O)O</chem>	D-alanine

Реакции в виде SMILES

[I-].[Na+].C=CCBr>>[Na+].[Br-].C=CCI реакция замещения
(C(=O)O).(OCC)>>(C(=O)OCC).(O) образование сложного эфира

Стандартизация SMILES

- Очевидно, что одну молекулу можно описать разными способами.
- Морган в 1965 году предложил рассматривать каждый атом по свойству его окружения.
- Стандартные SMILES называют Unique.

Input SMILES	Unique SMILES
<chem>OCC</chem>	<chem>CCO</chem>
<chem>[CH3][CH2][OH]</chem>	<chem>CCO</chem>
<chem>C-C-O</chem>	<chem>CCO</chem>
<chem>C(O)C</chem>	<chem>CCO</chem>
<chem>OC(=O)C(Br)(Cl)N</chem>	<chem>NC(Cl)(Br)C(=O)O</chem>
<chem>ClC(Br)(N)C(=O)O</chem>	<chem>NC(Cl)(Br)C(=O)O</chem>
<chem>O=C(O)C(N)(Br)Cl</chem>	<chem>NC(Cl)(Br)C(=O)O</chem>

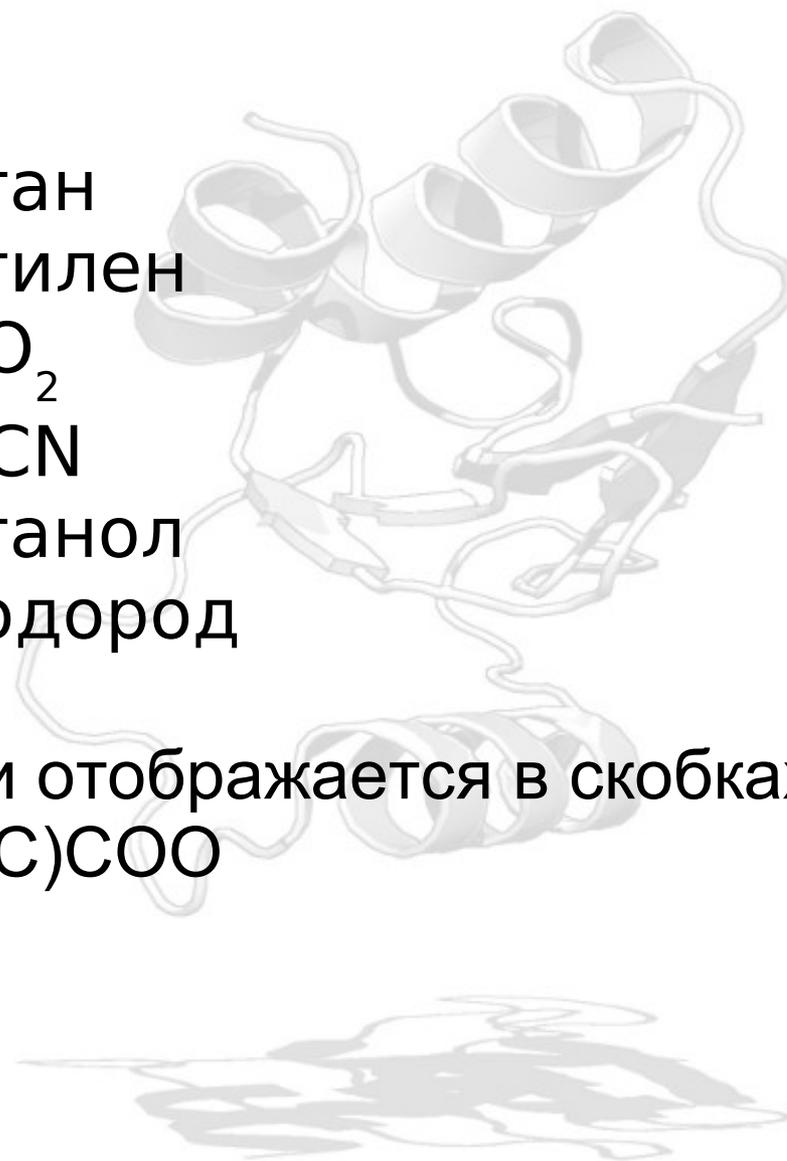
Описание SMILES: атомы

- Однобуквенные атомы, а именно : B, C, N, O, P, S, F, Cl, Br, I записываются как есть, как один символ.
- Все остальные атомы записываются в квадратных скобках [Pt]
- Так как атомы водорода обычно не указываются, то “валентность” атомов определяется как наименьшая из ближайших T.e. B (3), C (4), N (3,5), O (2), P (3,5), S (2,4,6).
- “Валентности”, отличные от “нормальных”, указывают в скобках [S], [H+], [Fe+2], [OH-], [Fe++], [OH3+], [NH4+]

Описание SMILES: связи

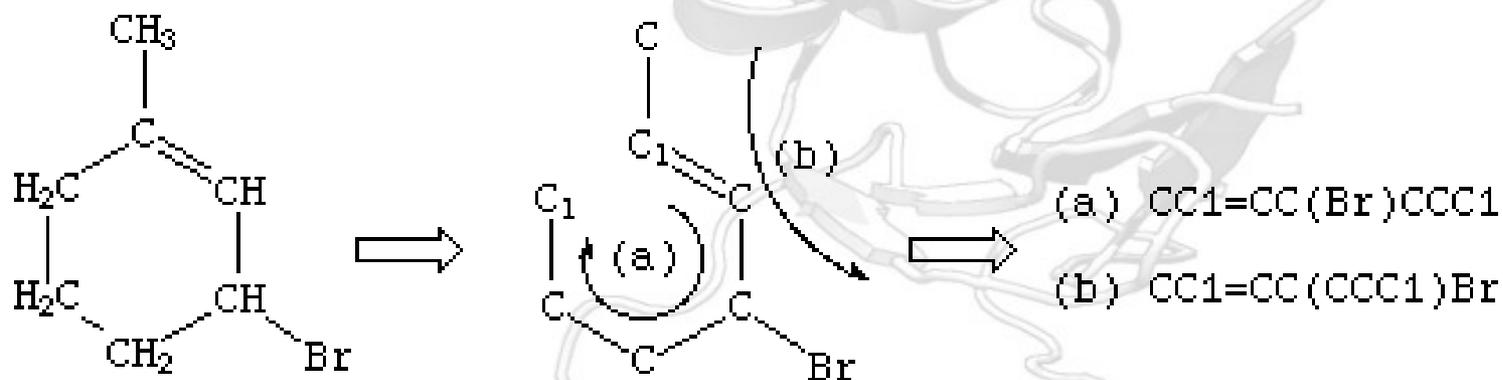
<chem>CC</chem>	этан
<chem>C=C</chem>	этилен
<chem>O=C=O</chem>	CO_2
<chem>C\#N</chem>	HCN
<chem>CCO</chem>	этанол
<chem>[H][H]</chem>	водород

- Ветвление цепи отображается в скобках ()
Пример: CCC(CC)COO

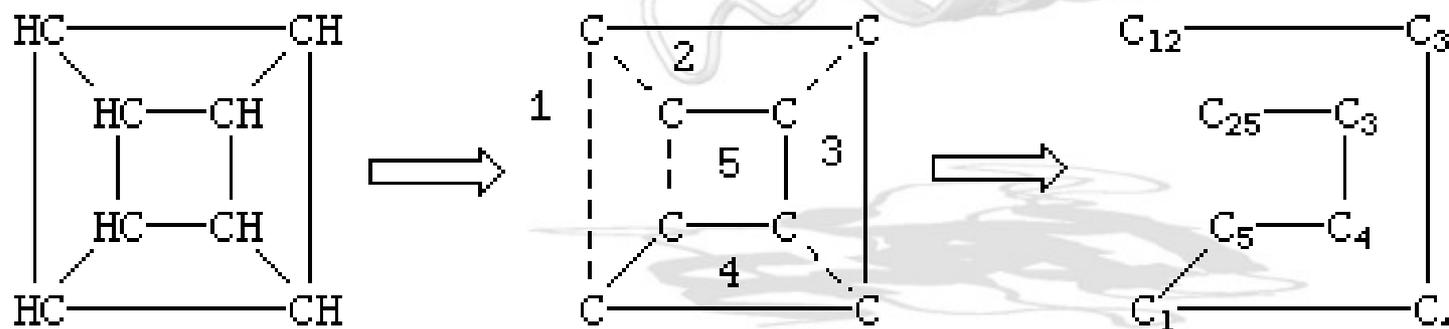


Описание SMILES: циклы

- C1CCCCC1 циклогексан
- Или более сложный пример:

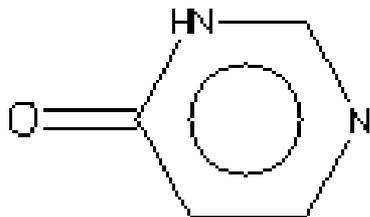


- Самый сложный пример: C12C3C4C1C5C4C3C25



Описание SMILES: ароматика

- SMILES для определения ароматичности использует расширенный алгоритм Хюккеля.
- c1ccccc1 eq C1=CC=CC=C1 тут все атомы находятся в sp^2 -гибридизации
- c1ccccc1 eq C1=CC=CC1 , последний атом в гибридации sp^3 .
- Ароматичными могут быть атомы: C, N, O, P, S, As, Se, и * .
- Пример: c1cnc[nH]c(=O)1



SMARTS: паттерны для SMILES

- В принципе, SMARTS это SMILES + операторы логики и варианты в позициях.

Примеры для атомов:

- C алифатический углерод
- c ароматический углерод
- a любой ароматический атом
- [#6] любой атом углерода
- [++] атом с зарядом +2
- [R] атом в кольце
- [D3] атом с тремя связями (не с водородами)
- [X3] атом с тремя связями, включая водороды
- [v3] атом с валентностью 3.

SMARTS: логические операторы и примеры

- **Логика:**

!e1 not e1
e1&e2 a1 and e2
e1,e2 e1 or e2
e1;e2 a1 and e2

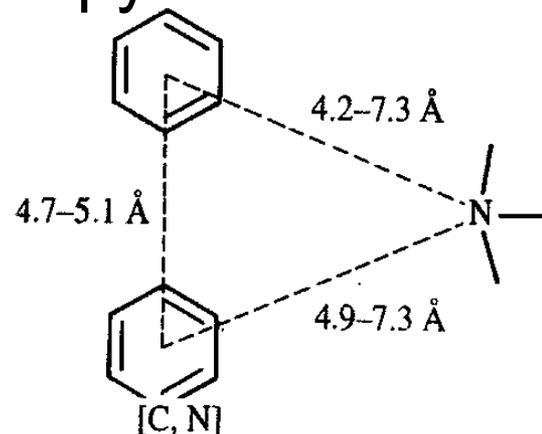
Примеры:

[!C;R] - не алифатический C в кольце
[n;H1], [n&H1], [nH1] - H в пирроле
[c,n&H1] - C или H в пирроле
[X3&H0] - Атом с тремя связями не с H
[c,n;H1] - N или C в связи с одним H1

Поиск по 3D-базам данным

- Поиск в 2D-пространстве хорош для поиска подобных молекул, но биологически активные молекулы действуют благодаря специфической 3D-структуре.
- Взаимодействие с биополимером может происходить благодаря нужному расположению в пространстве некоторых групп. При этом различие в 2D-структуре может быть весьма существенным.
- Фармакофор — это набор свойств, которые являются общими для некоторой группы активных молекул.

- Пример:
Антигистаминный
3D-фармакофор

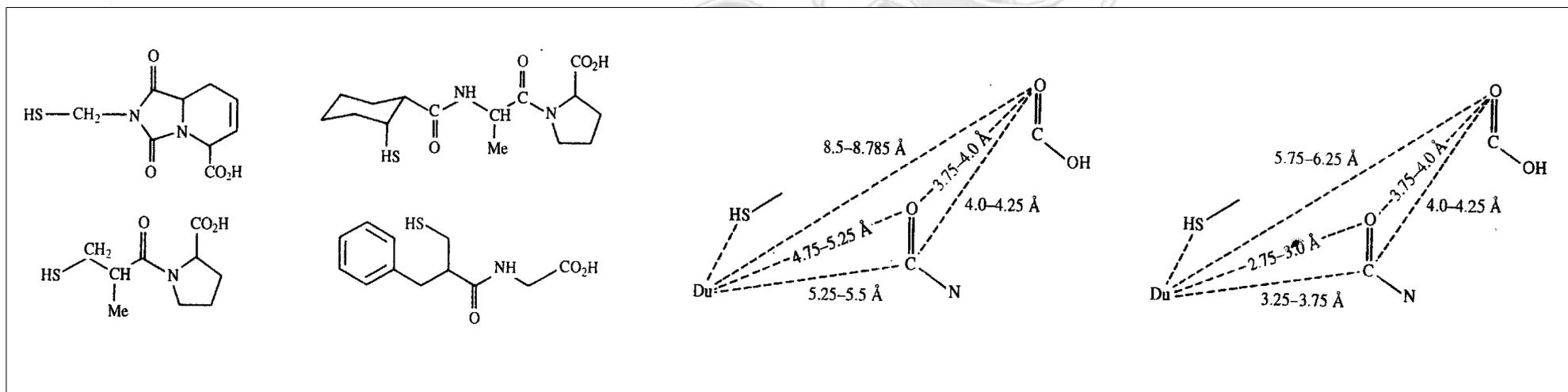


Проблемы с фармакофорами

- Если молекулы более или менее подвижны, то это накладывает дополнительные требования на учёт конформационных превращений.
- Для определения фармакофора надо определить, какой набор групп располагается в биополимере идентично.
- Надо быть уверенным, что выбранный набор молекул связывается с белком в одном и том же месте. Однозначное указание на это можно получить только экспериментально.

Систематический поиск

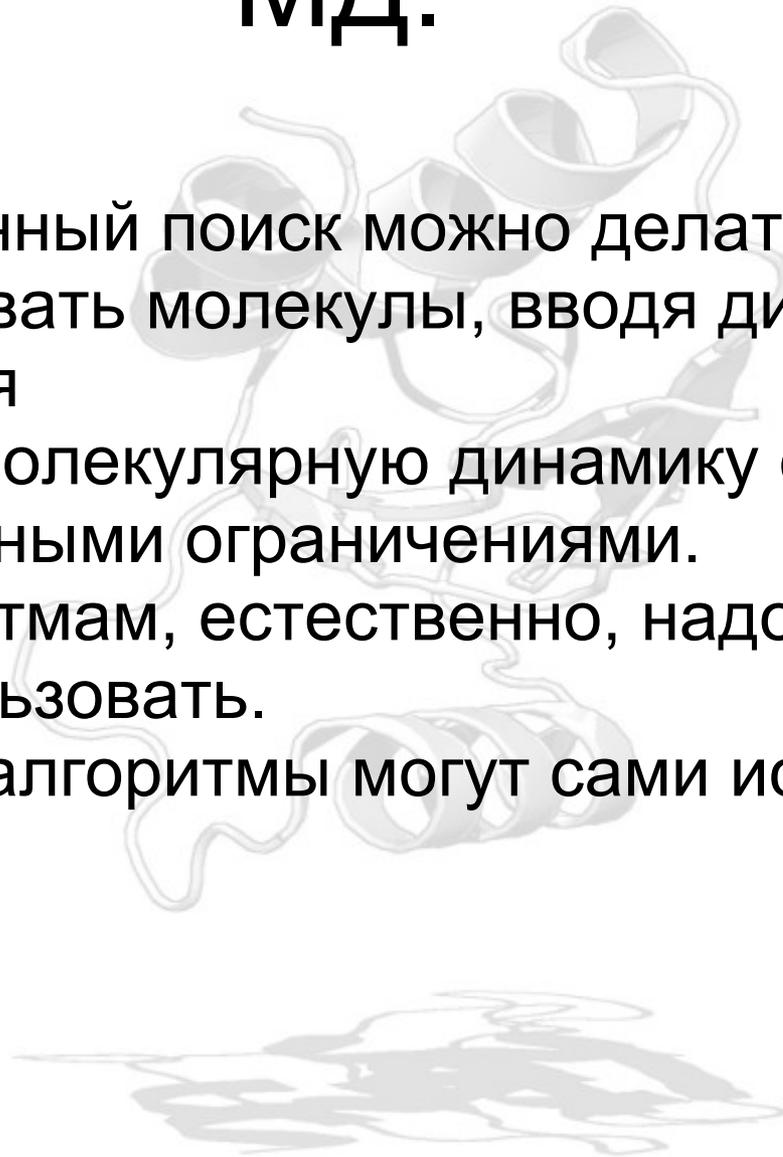
- Есть проблема:



Выбирают точки, которые по мнению исследователей определяют активность. Делают конформационный поиск для всех молекул. Если находят пересечения по геометрии, то на основе этих точек и геометрии пересечения формулируют фармакофор.

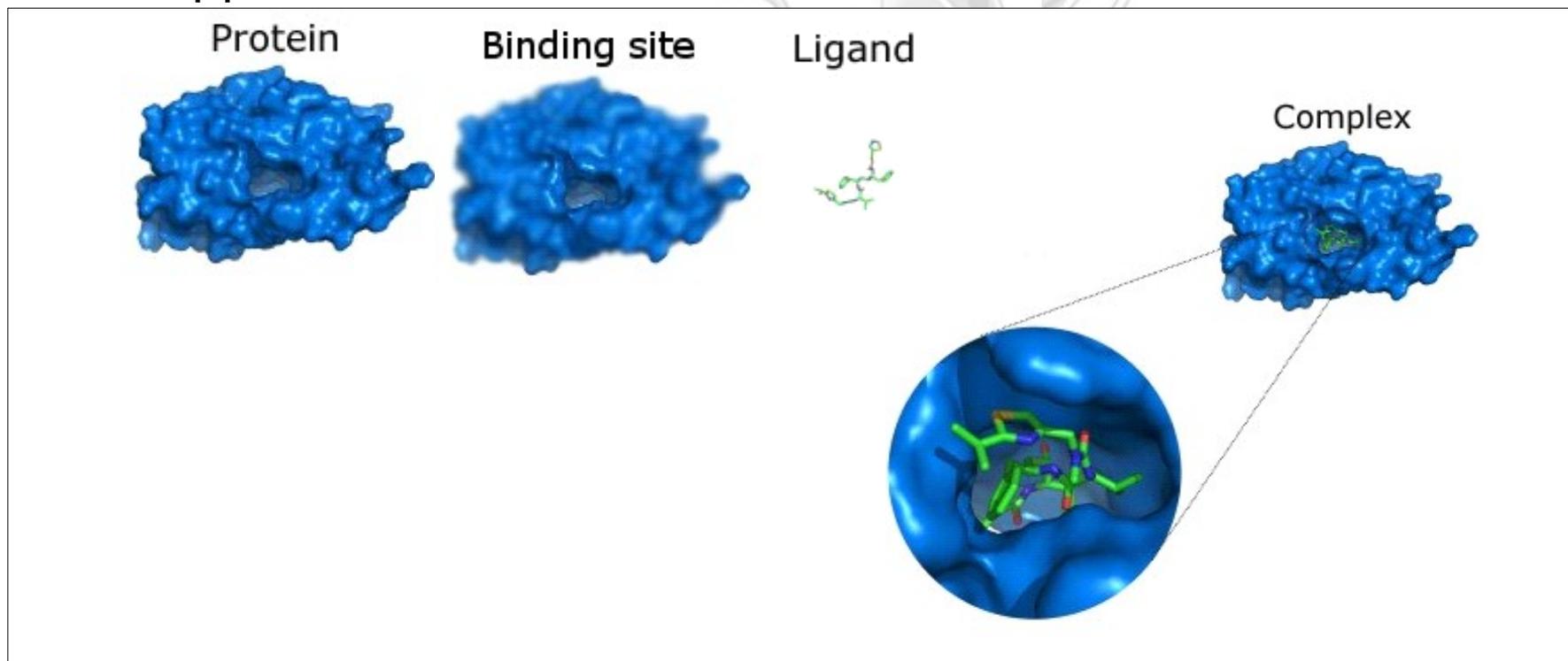
Алгоритмы ансамблей геометрических ограничений и МД.

- Конформационный поиск можно делать по-разному:
 - Оптимизировать молекулы, вводя дистанционные ограничения
 - Проводить молекулярную динамику с дистанционными ограничениями.
 - Этим алгоритмам, естественно, надо знать, какие точки использовать.
- Генетические алгоритмы могут сами искать точки фармакофора.



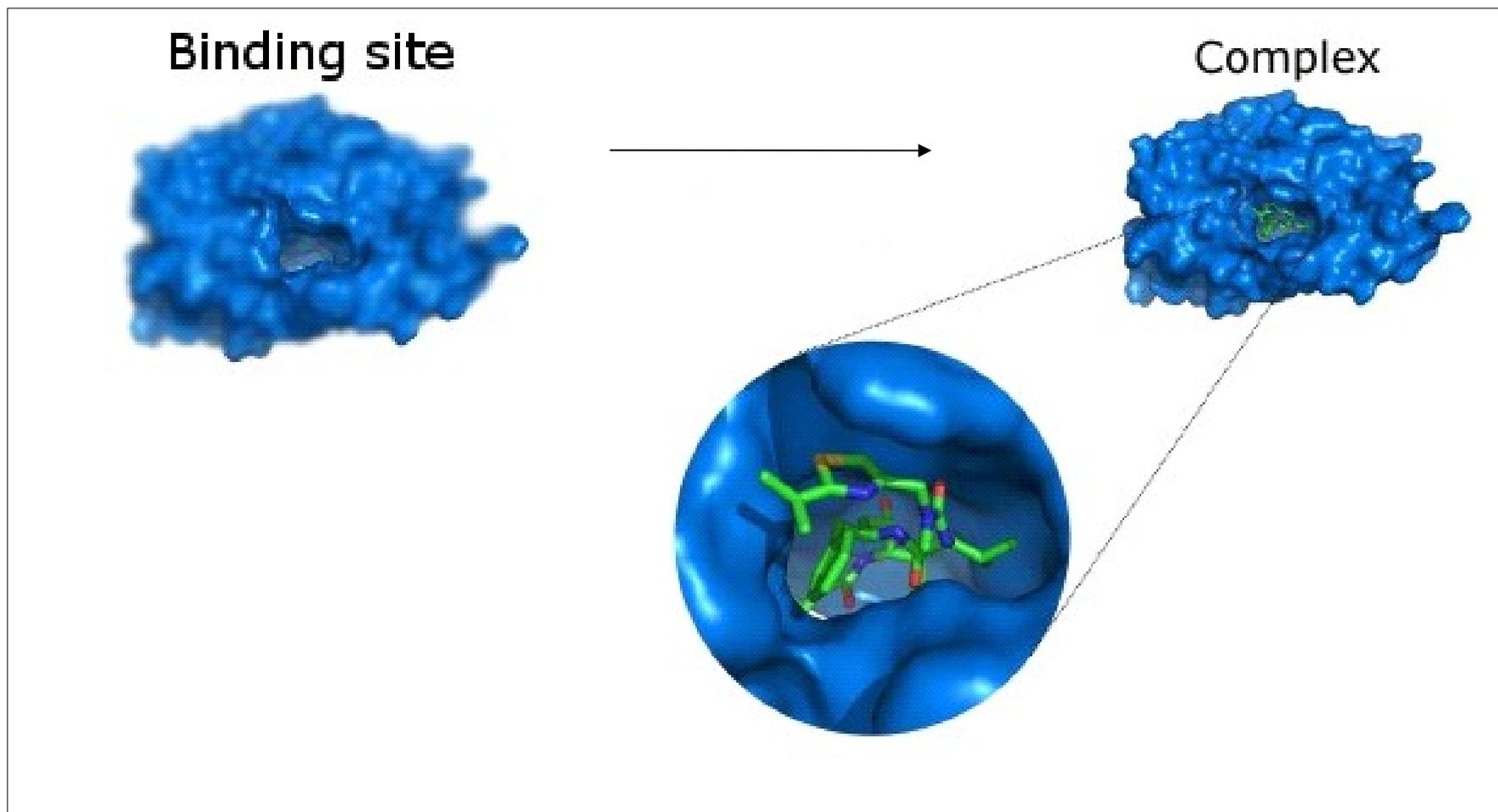
Докинг белок-лиганд

Компьютерный метод, воспроизводящий связывание лиганда с белком



- В результате мы можем узнать положение лиганда в комплексе с белком и оценить константу связывания

Положение в сайте связывания



- Сайт связывания — место связывания лиганда
- Геометрия связывания — место связывания, ориентация и конформация лиганда

Использование докинга

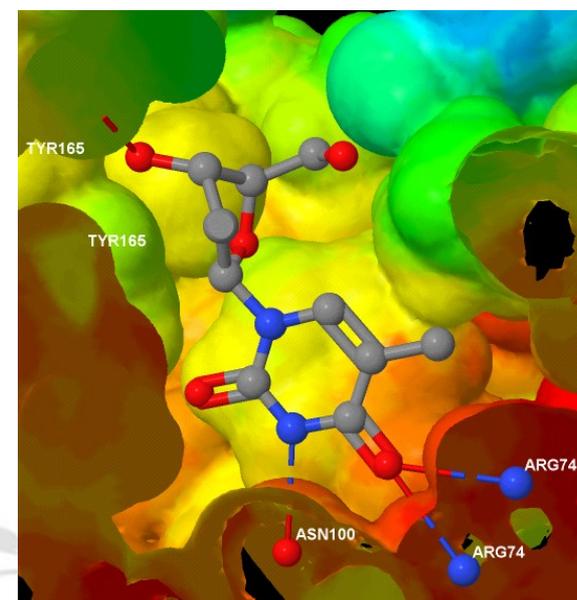
Основные цели докинга:

Виртуальный поиск лигандов

- Определение геометрии связывания лиганда

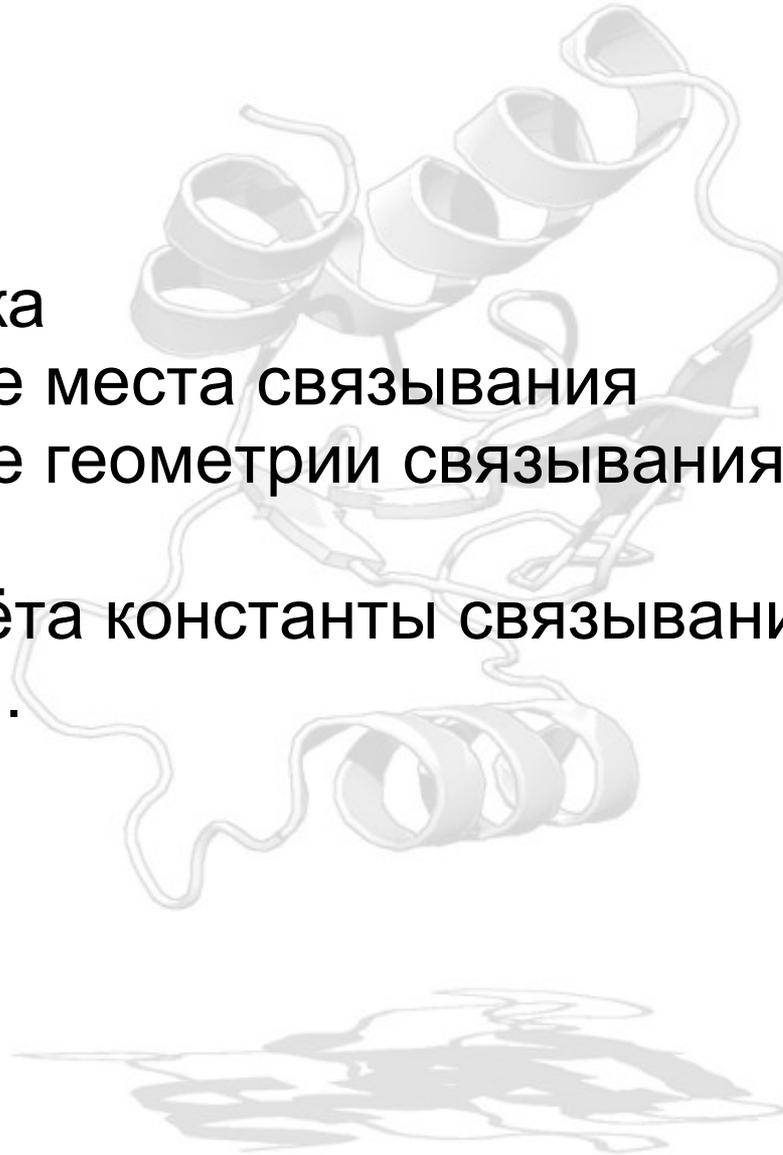
Если мы знаем, как связывается лиганд, то:

- Мы можем узнать, какие части важны для связывания
- Можно предложить изменения для улучшения константы связывания
- Можем избежать ошибок



Два основных компонента программ для докинга

- Алгоритм поиска
 - Установление места связывания
 - Установление геометрии связывания
- Алгоритм расчёта константы связывания областей с низкой энергией.



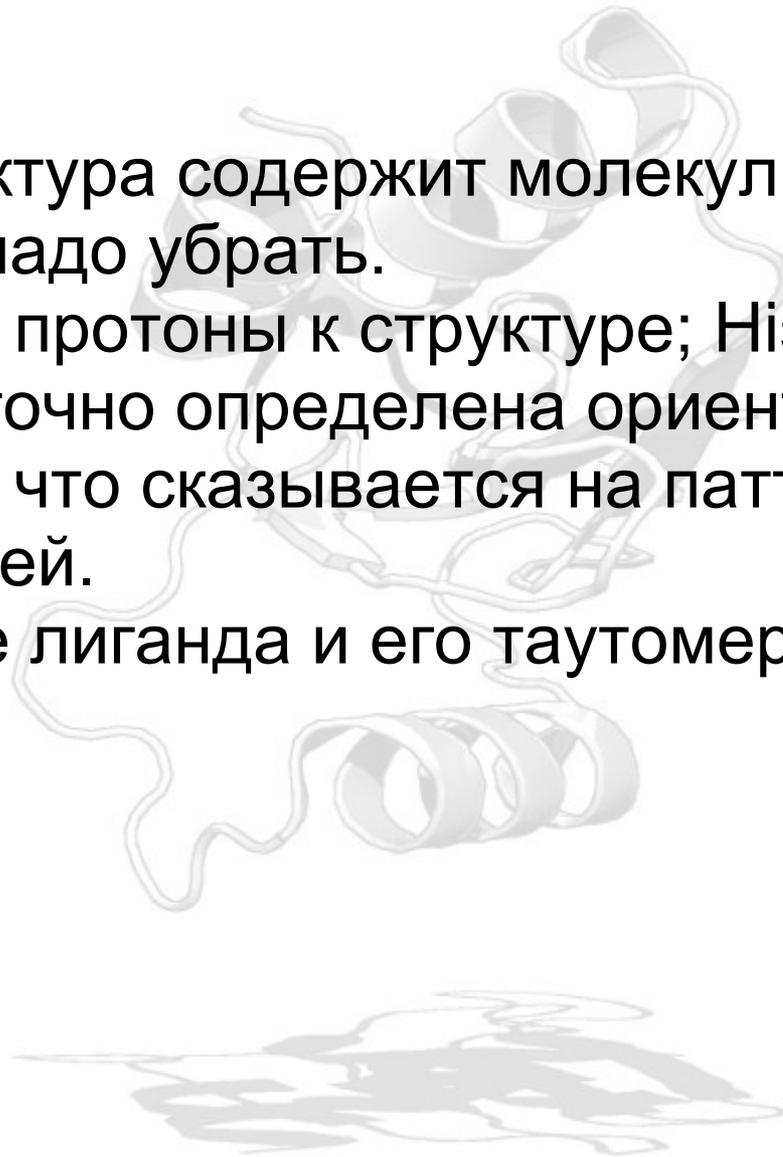
Реализация

Сегодня существует много программ для докинга

- AutoDock, DOCK, e-Hits, FlexX, FRED, Glide, GOLD, LigandFit, QXP, Surflex-Dock...и т.д.
- разные алгоритмы оценки аффинности и разные алгоритмы поиска
- Важно не путать лиганд-белок докинг и белок-белок докинг

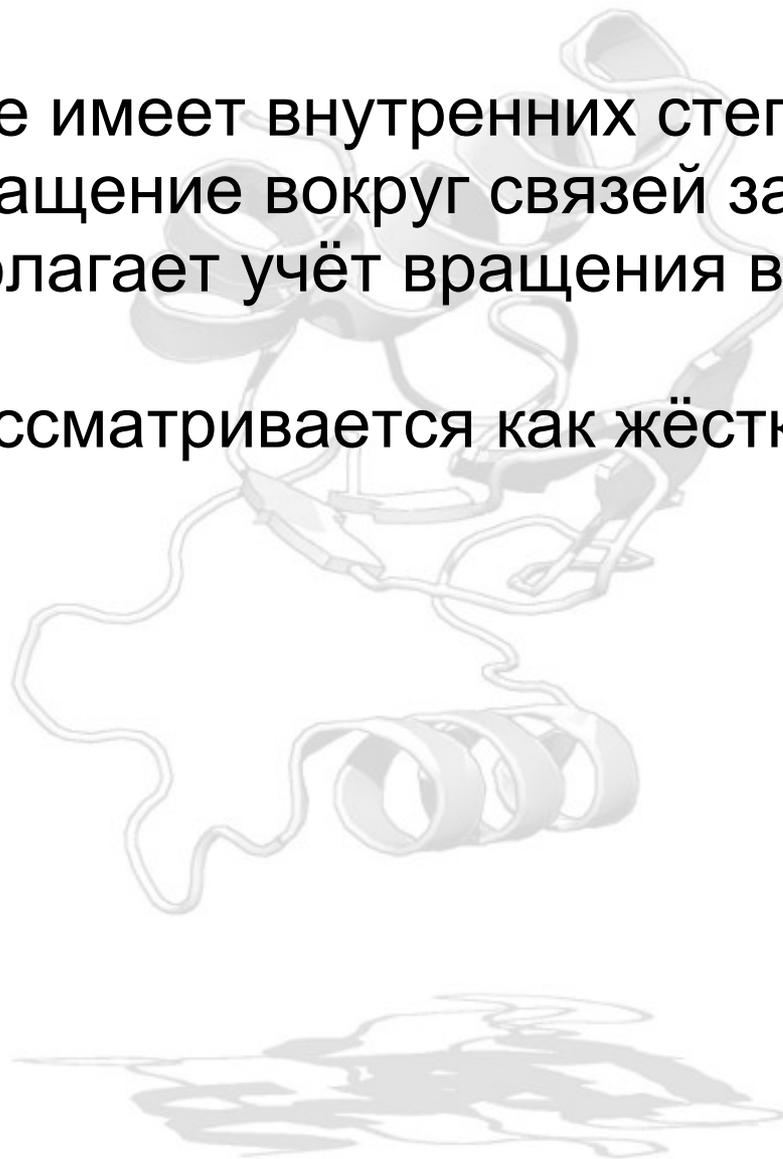
Практические аспекты

- Часто PDB-структура содержит молекулы воды, почти всегда их надо убрать.
- Надо добавлять протоны к структуре; His?
- Часто в PDB неточно определена ориентация некоторых групп, что сказывается на паттерне водородных связей.
- Протонирование лиганда и его таутомерные формы.

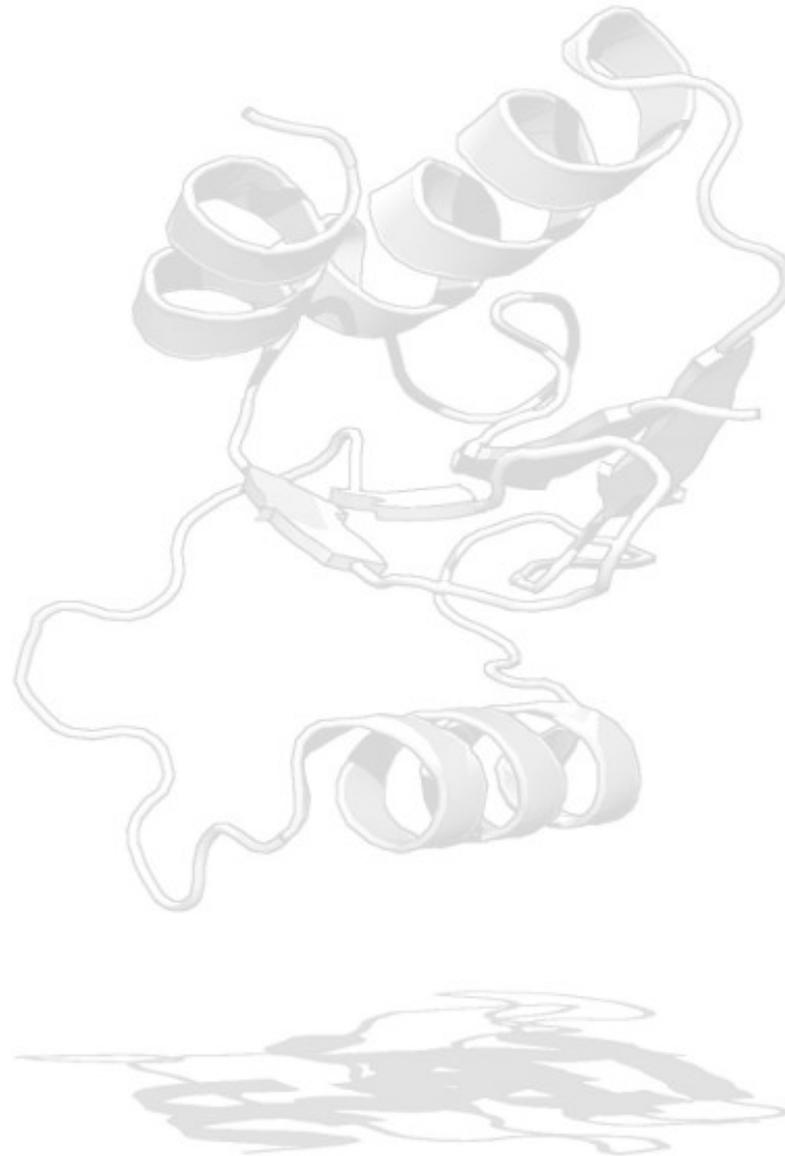


Rigid|Flexible докинг

- Rigid: лиганд не имеет внутренних степеней свободы, т.е. вращение вокруг связей запрещено.
- Flexible: предполагает учёт вращения вокруг связей лиганда.
- Часто белок рассматривается как жёсткое тело



Вопросы?



...