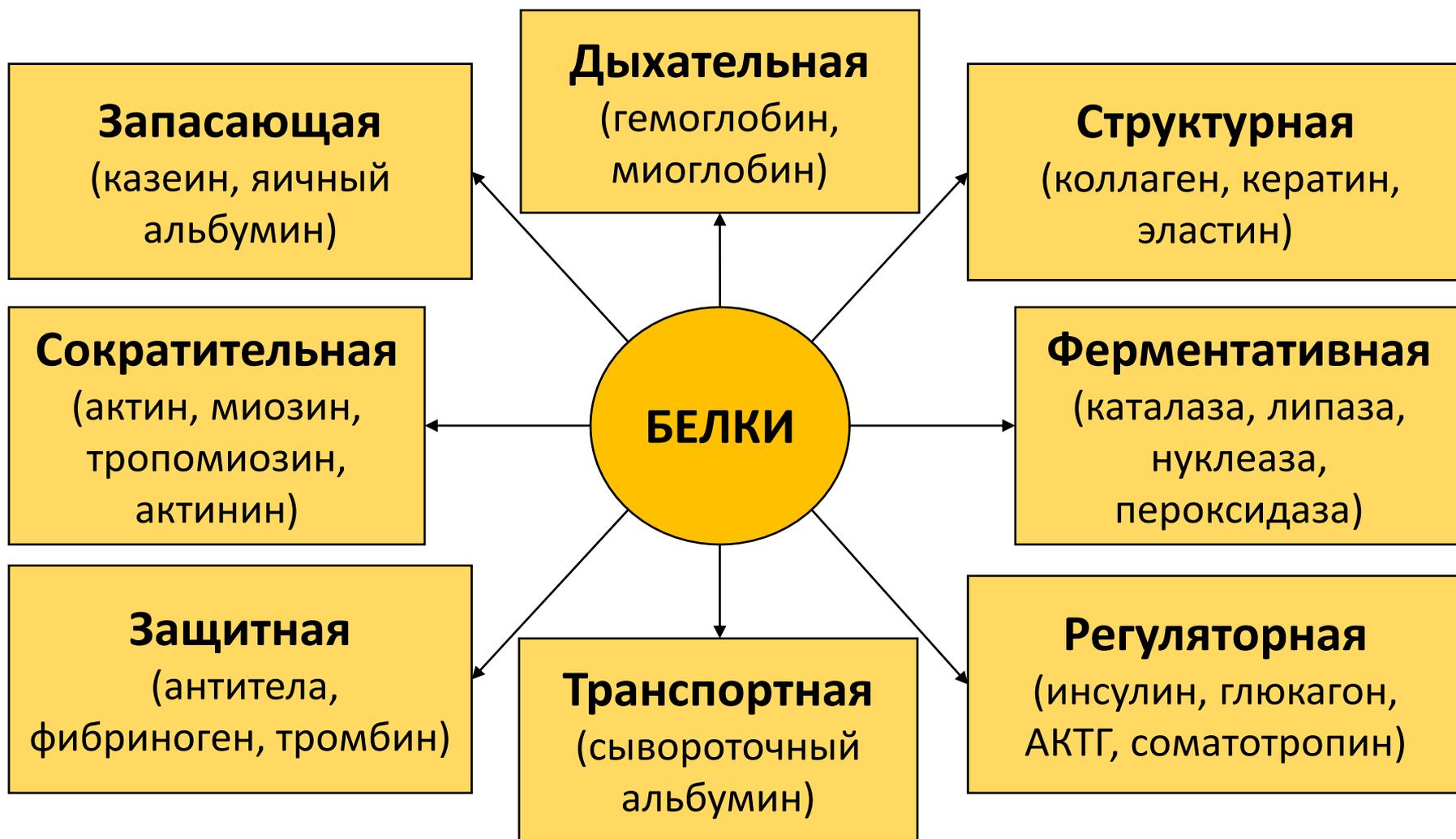


# **НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ**

# БЕЛКИ И ИХ РОЛЬ В ОРГАНИЗМЕ



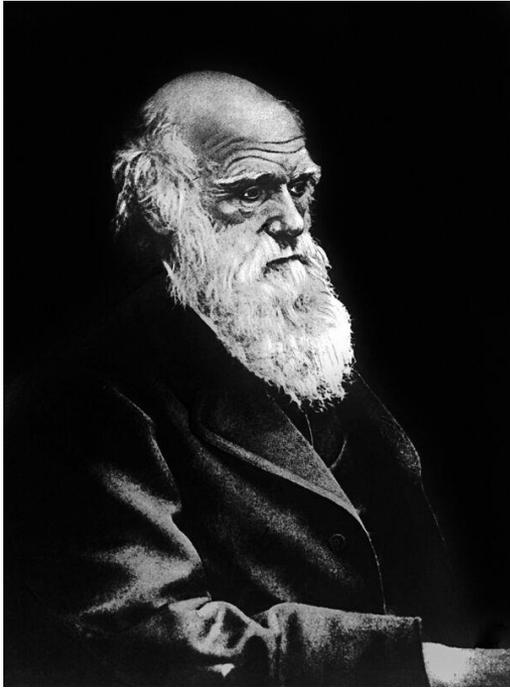
***Жизнь - есть способ существования белковых тел (с)***

Белки выполняют **большинство функций** в организме, кроме копирования генетической информации.

Белок можно сравнить с готовым блюдом, которое однако невозможно произвести без рецепта. Белок не способен к **саморепликации** (удвоению) и восстановлению.



# ДАРВИНОВСКАЯ ГИПОТЕЗА ПАНГЕНЕЗИСА



Чарльз Дарвин

Хотя Грегор Мендель уже описал законы наследственности и изменчивости, научное сообщество не приняло его идей. **Чарльз Дарвин**, пытаясь объяснить принцип передачи наследственной информации от родителей потомкам, предложил **гипотезу**, согласно которой в клетках тела есть микроскопические частицы – **геммулы**, несущие в себе все признаки организма.



Гуго де Фриз

**Геммулы** с током крови разносятся по организму и превращаются в половые клетки, обеспечивая передачу наследственной информации следующим поколениям. Гипотеза была изложена в **1868 г.** в книге **Дарвина «Изменения домашних животных и культурных растений»**. Сам автор считал ее временной и умозрительной (т.е. не подкрепленной реальными данными).

**ГИПОТЕЗА ПАНГЕНЕЗИСА ПРИВЕЛА К КРИЗИСУ ДАРВИНИЗМА (ЭФФЕКТ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ПРИЗНАКА).**

# Тело

# Эмбрион

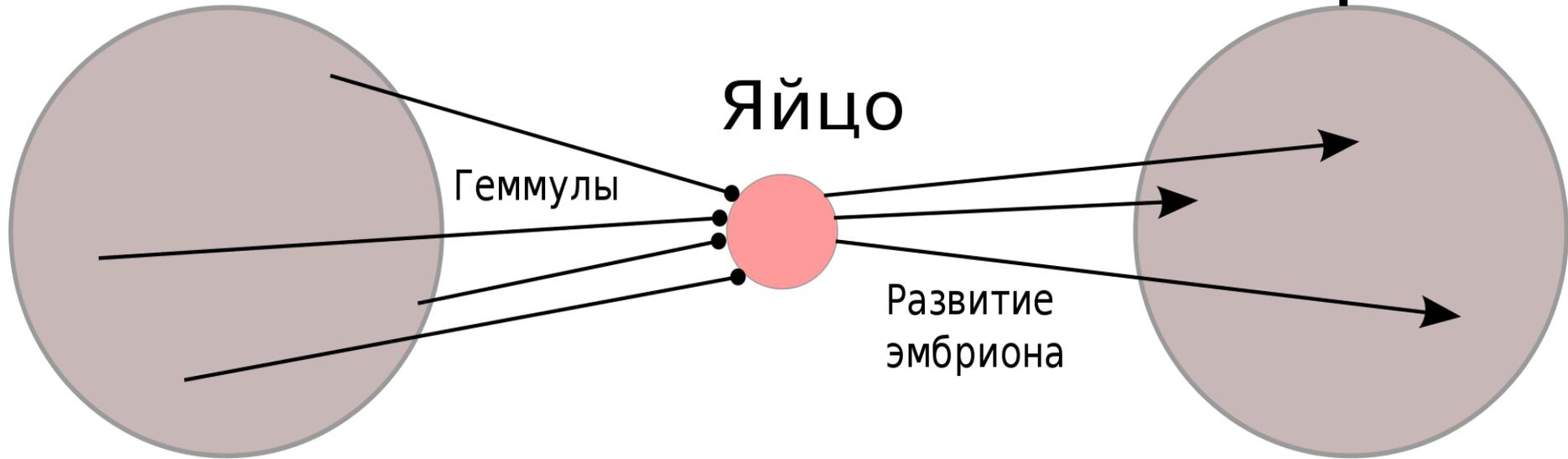
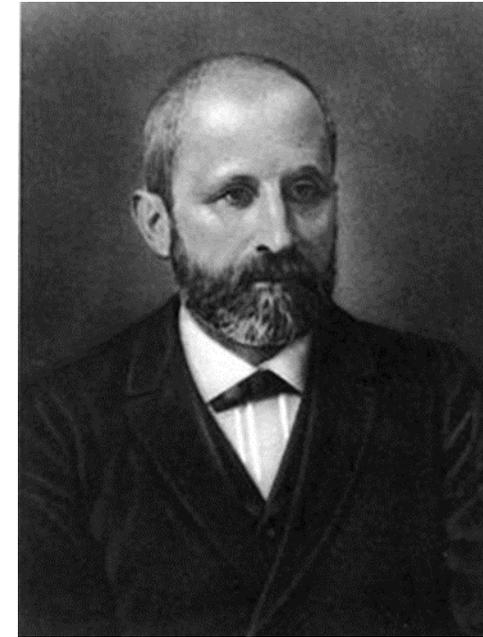


Иллюстрация гипотезы пангенезиса

В **1889** г. голландский ботаник **Гуго де Фриз** выдвинул свою гипотезу о **внутриклеточном пангенезе**. Он считал, что **геммулы** не превращаются в половые клетки, наоборот **гаметы** уже содержат некие **дискретные факторы**, т.н. «**пангены**», определяющие признак (де Фриз максимально приблизился к открытию дискретной природы наследственности, сделанному **Грегором Менделем**, а пангены впоследствии сократил до **генов**). Тем самым опровергался принцип **Ламарка** о наследовании приобретенных признаков. Однако ни локализация пангенов, ни их химический состав или возможная форма не была даже примерно обозначена. **Пангены** оставались «**призраками**» наследственности.

# ОТКРЫТИЕ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

В 1869 г. молодой швейцарский ученый **Фридрих Мишер** хотел узнать, какие белки задействованы в биохимических реакциях в ядре клетки. Он собрал **гной** с повязок, выделил **лейкоциты** и обнаружил, что внутриклеточная жидкость действительно **богата белками**. Однако дальнейшие исследования показали, что в ядре есть и другое вещество, содержащее, помимо, **углерода, азота, кислорода и водорода**, еще и **фосфор**, которого нет ни в одной аминокислоте. **Мишер** назвал открытое им вещество **нуклеином** (от слова «нуклеус» – ядро). Он сумел выделить **нуклеин** из всех клеток, **кроме эритроцитов**.



Фридрих Мишер  
(1844-1895)

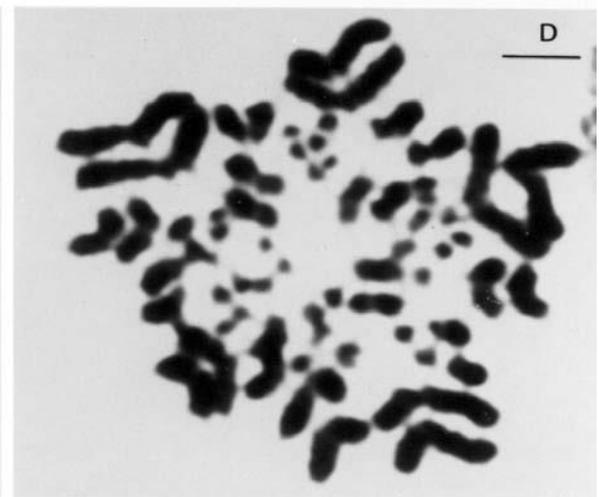
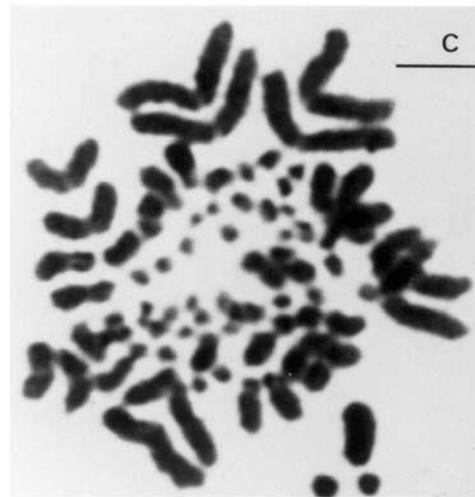
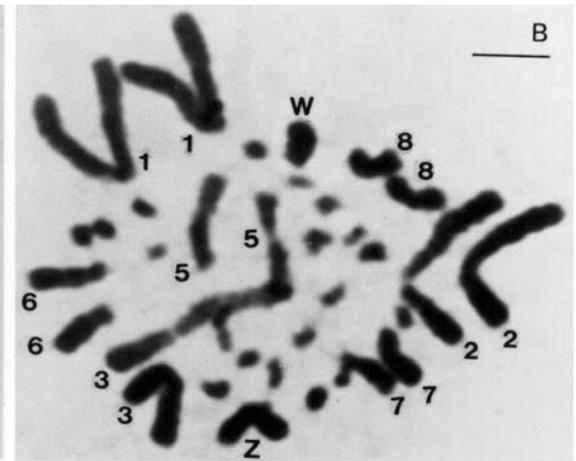
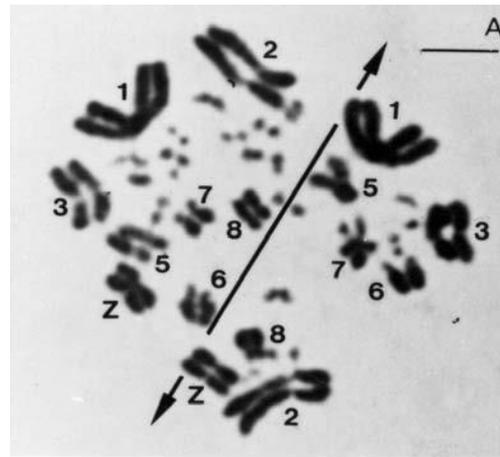
**Нуклеин** не разлагался протеолитическими ферментами, т.е. не являлся **белком**. Отсутствие растворимости в горячем спирте указывало на то, что он не являлся и **фосфолипидом**. В **1871 г.** **Мишер** опубликовал результаты своих исследований, а в конце **1880-х** он обнаружил, что в молекулах нуклеина содержатся **кислотные группы**.

**В 1889 г. РИХАРД АЛЬТМАН НАЗЫВАЛ НУКЛЕИН НУКЛЕИНОВОЙ КИСЛОТОЙ.**

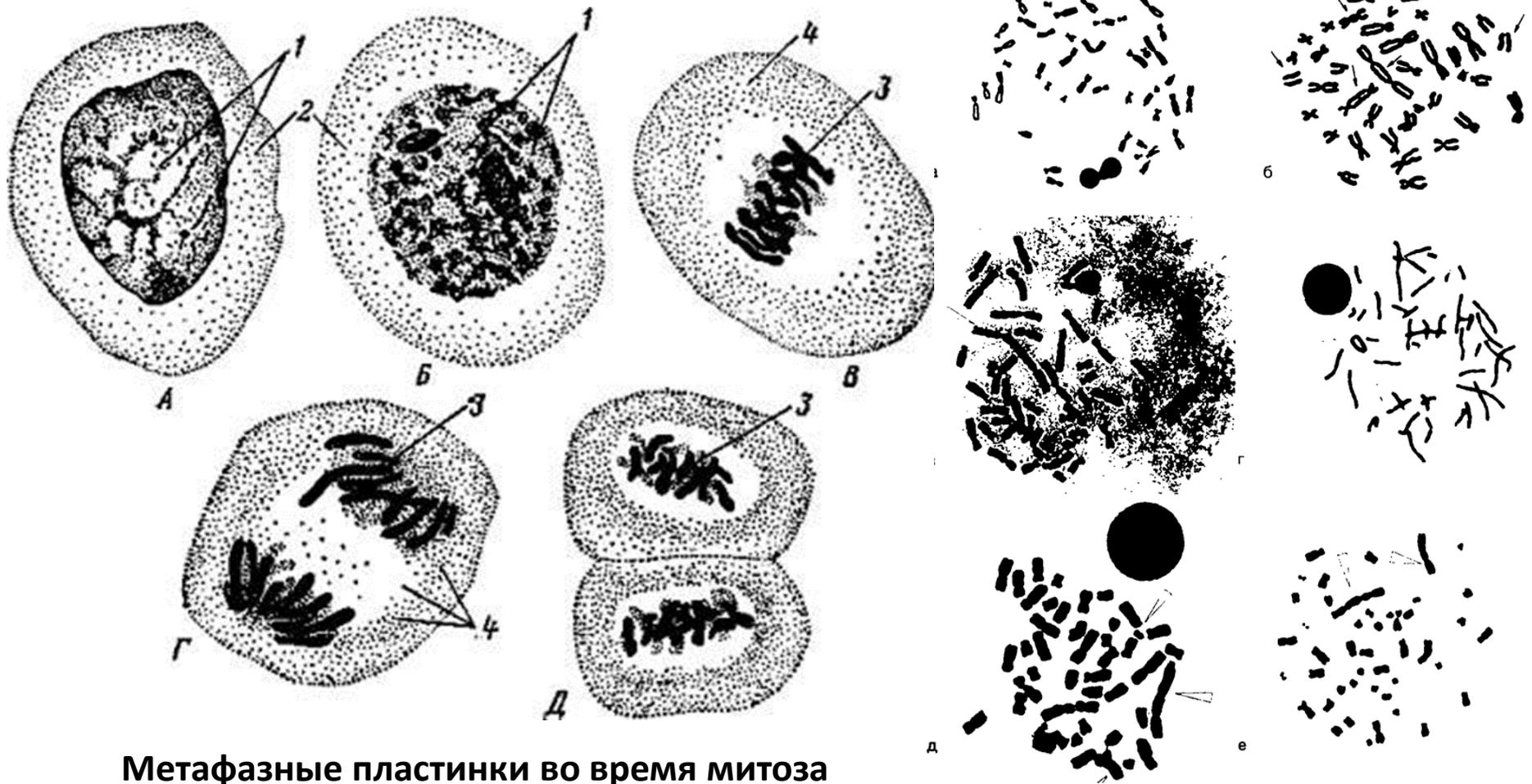


Вальтер Флемминг (1843-1905)

В **1879** г. немецкий биолог **Вальтер Флемминг** обнаружил, что некоторые **красители** связываются с нитевидными молекулами внутри ядра. Он назвал их **хромосомами** («хрома» – цвет, «сома» – тельце). Убивая клетки на разных стадиях и окрашивая хромосомы, **Флемминг** описал процесс **митоза**. Но никто не посчитал их носителями **наследственной информации**.



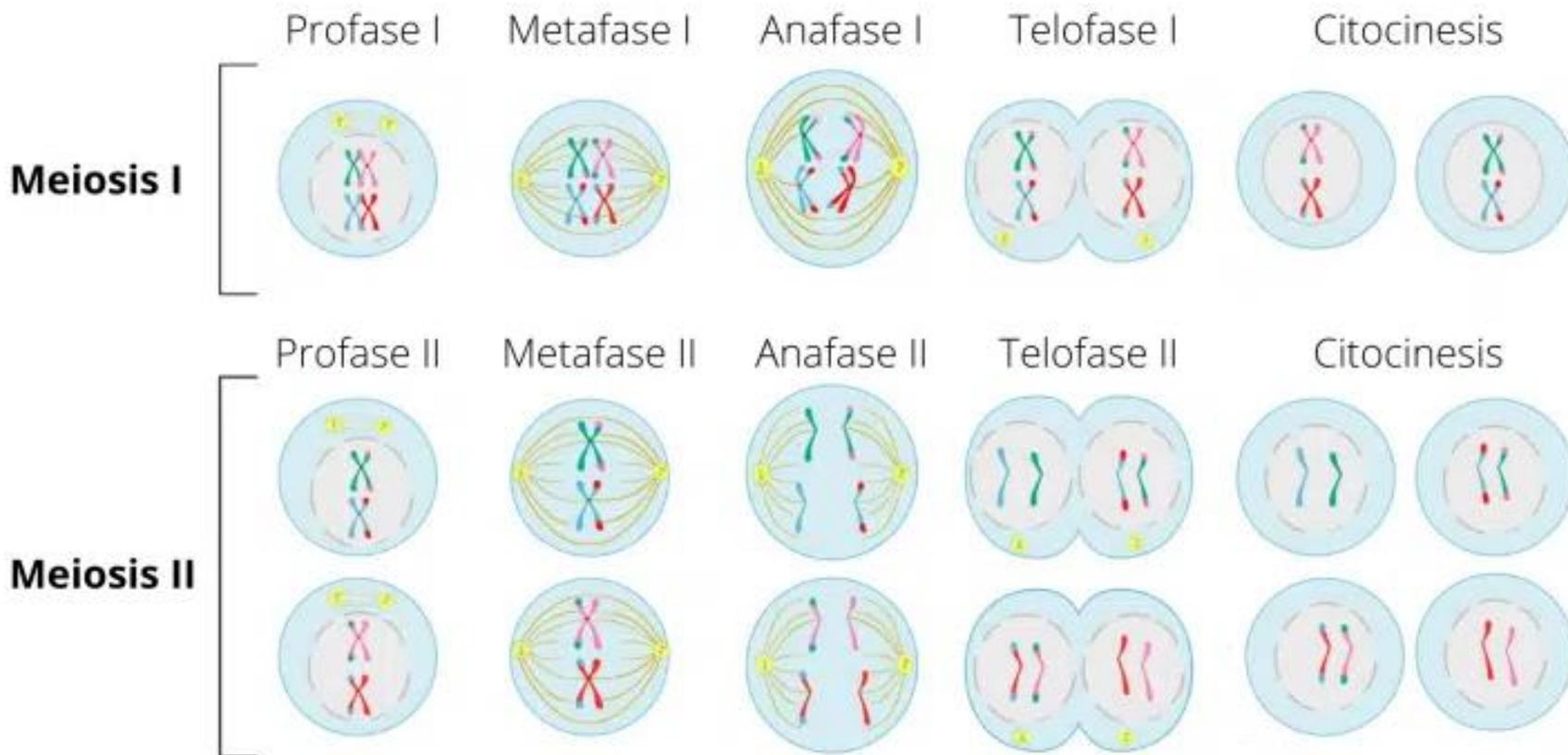
Микропрепарат хромосом



Метафазные пластинки во время митоза

**Хромосомы** то появлялись, то исчезали. Ученые решили, что они являются **клеточным мусором**, который клетка накапливает перед делением, а потом от него избавляется. Такая гипотеза выглядела логично, т.к. **большую часть времени** хромосомы невозможно разглядеть даже в микроскоп, а их **количество** во время митоза было сложно подсчитать. Никто не знал, что оно **всегда остается неизменным**.

В **1886 г.** немецкий зоолог **Август Вейсман** предположил, что яйцеклетки и сперматозоиды должны обладать каким-то **важным веществом**, которое передается следующему поколению. Он был одним из первых ученых, посчитавших, что именно **хромосомы** играют ключевую роль в наследственности и развитии организмов. Фактически он описал **мейотическое деление клетки**, в результате которого количество генетического материала **уменьшается в два раза**.



Современные представления о мейозе

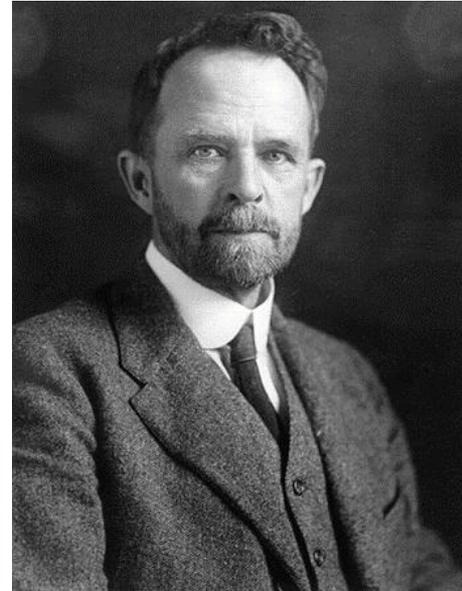
# ОТКРЫТИЕ РОЛИ ХРОМОСОМ



Теодор Бовери  
(1862-1915)



Уолтер Саттон  
(1877-1916)



Томас Морган  
(1866-1945)

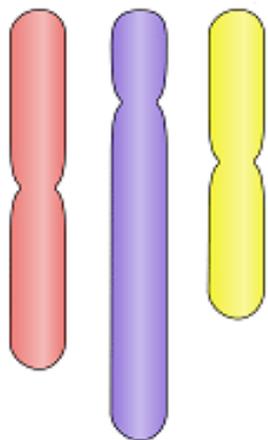


Нетти Стивенс  
(1861-1912)

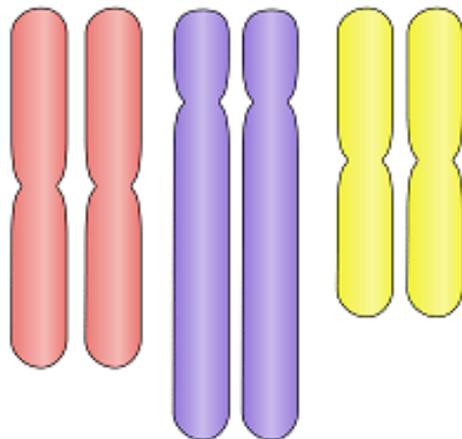
Хотя сами **хромосомы** были описаны еще в конце 19 в., только после переоткрытия законов наследственности и изменчивости немецкий биолог **Теодор Бовери** и американский генетик **Уолтер Саттон** независимо друг от друга в **1903 г.** выдвинули предположение о их роли в передаче генетической информации. Из клеточного мусора они превратились в носителей **генов** – наследуемых признаков организма. В этом же году ученица Томаса Моргана **Нетти Стивенс** открыла половые хромосомы **X** и **Y** и определила их функции.

**Бовери** обнаружил, сперматозоиды и яйцеклетки морского ежа содержат половинный (**гаплоидный**) набор хромосом, а при оплодотворении зародыш несет в себе полный (**диплоидный**) набор.

### Гаплоид ( $n$ )



### Диплоид ( $2n$ )



Набор хромосом в половых и соматических клетках

Слияние пронуклеусов

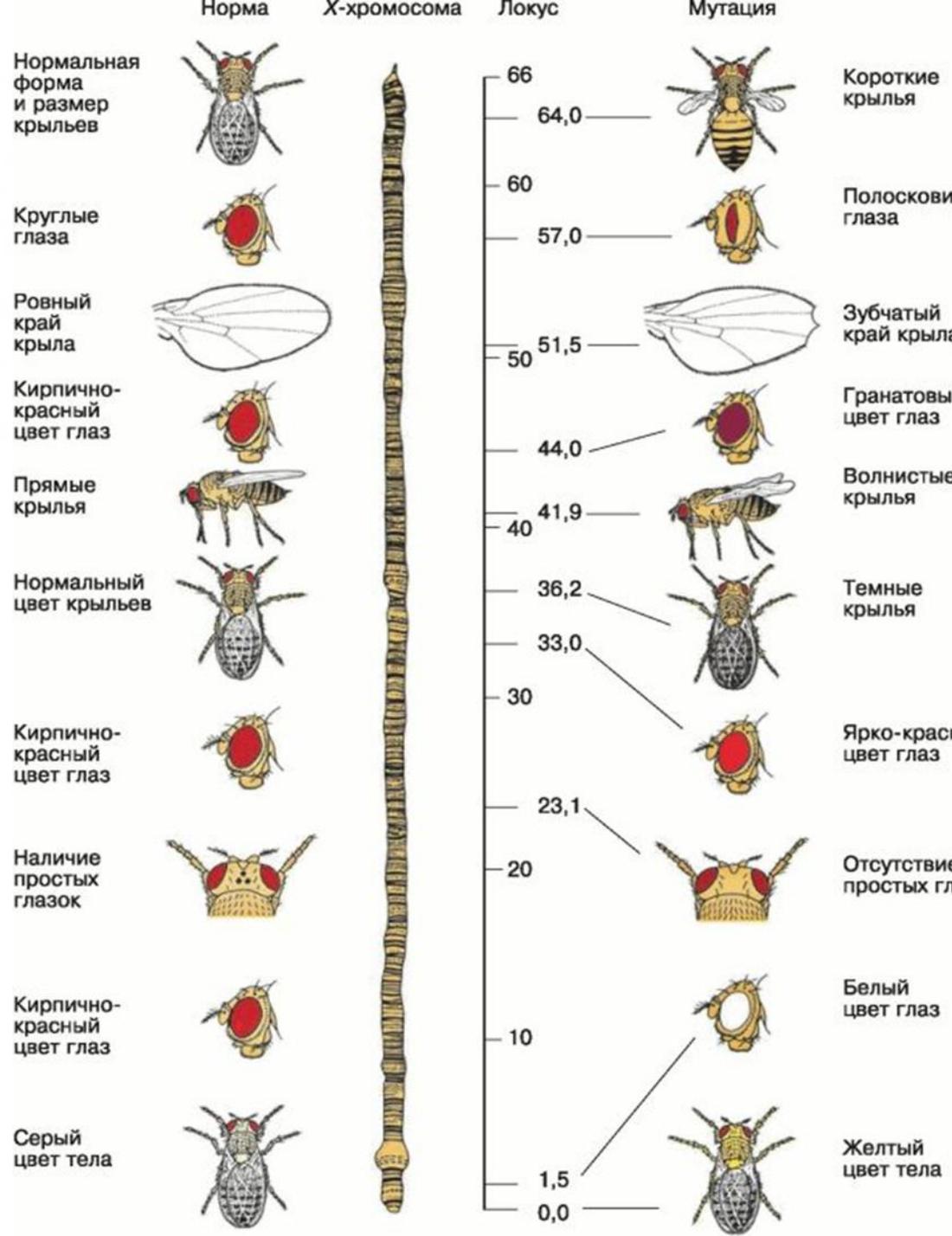
**Саттон** изучал **гаметогенез** у саранчи и понял, что поведение хромосом в **мейозе** и при оплодотворении полностью объясняет закономерности законов **Менделя** (расхождения признаков и формирования новых комбинаций).

*«Я хочу привлечь внимание к вероятности, что соединение пары отцовских и материнских хромосом и их последующее разделение во время редукционного деления может представлять физическую основу закона наследственности Менделя» (с)*



**Плодовая мушка – главный объект генетики**

В 1910 г. лабораторий американского генетика **Томаса Моргана\*** была сформулирована теория хромосомной наследственности признаков. Он открыл закон **сцепленного наследования** признаков, что позволило понять природу таких заболеваний, как дальтонизм и гемофилия (т.е. зависящих от половых хромосом).



# ТЕОРИЯ САТТОНА-БОВЕРИ

**гены**, отвечающие за наследование признаков, расположены в **хромосомах**

**гены** располагаются **линейно**, каждый ген имеет своё место в хромосоме – **локус**

набор **генов** в каждой хромосоме **уникален**

расположенные **близко** друг к другу **группы генов** наследуются **сцеплено**

число **сцепленных генов** равно **гаплоидному набору** хромосом и постоянно для каждого вида

**сцепление хромосом** нарушается в ходе **кроссинговера** – процесса обмена участками хромосом в профазе I мейоза

чем **дальше** друг от друга находятся сцепленные группы **генов** в хромосоме, тем больше вероятность **кроссинговера**

ОДНАКО НИКТО НЕ УВИДЕЛ СВЯЗИ МЕЖДУ  
ХРОМОСОМАМИ И НУКЛЕИНОВЫМИ  
КИСЛОТАМИ. КРОМЕ ТОГО, УЧЕННЫЕ ЧАСТО  
ОШИБОЧНОЙ СЧИТАЛИ, ЧТО В НЕКОТОРЫХ  
КЛЕТКАХ НЕТ ХРОМОСОМ, Т.К. НЕ МОГЛИ  
ПОДОБРАТЬ ПРАВИЛЬНЫЙ КРАСИТЕЛЬ.  
НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ ПРОДОЛЖАЛИ  
СЧИТАТЬСЯ НЕКИМ СОПУСТВУЮЩИМ  
ВЕЩЕСТВОМ, А НЕ НОСИТЕЛЯМИ  
ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.

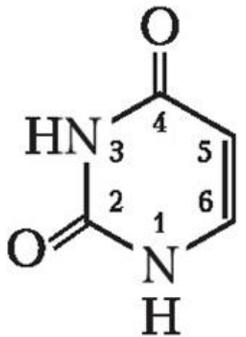


Альбрехт Коссель  
(1853-1927)

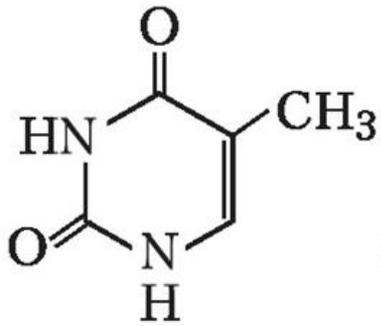
Исследованиями химического состава нуклеиновых кислот занялся коллега Фридриха Мишера – химик **Альбрехт Коссель**. Он доказал, что нуклеин содержит как белковый (**гистоны**), так и небелковый компоненты. В **1885 г.** методом гидролиза он выделил азотистые вещества **аденин** и **ксантин**, а в **1901 г.** Остальные основания - **гуанин**, **цитозин** и **тимин** (**ксантин** получался в результате химического превращения и в состав нуклеиновых кислот не входил). Кроме этих соединений, в гидролизате всегда находилось большое количество неорганической **фосфорной кислоты** и какого-то **углевода** (**гексозы или пентозы**).

Пиримидиновые основания

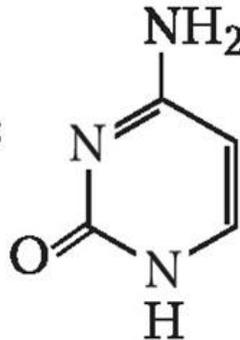
Пуриновые основания



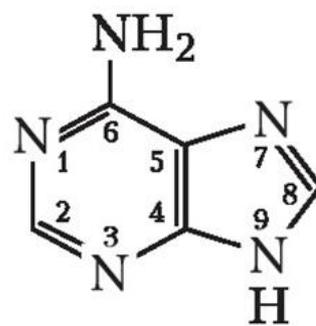
Урацил



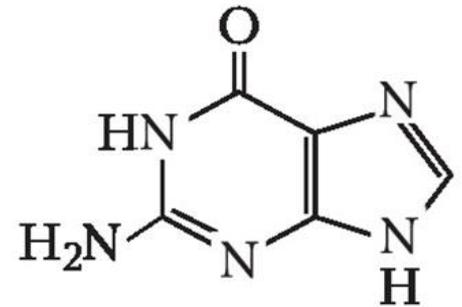
Тимин



Цитозин

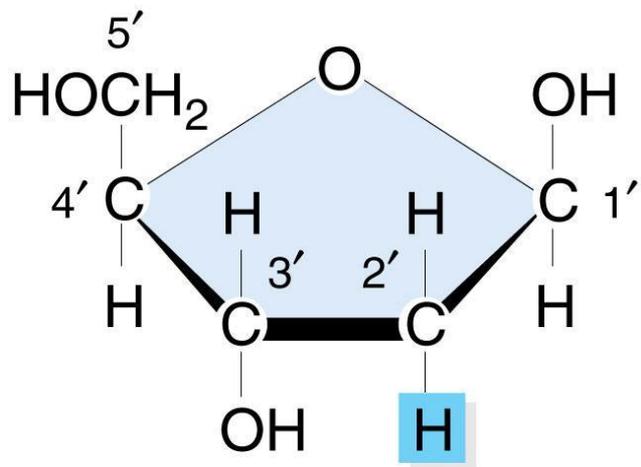


Аденин

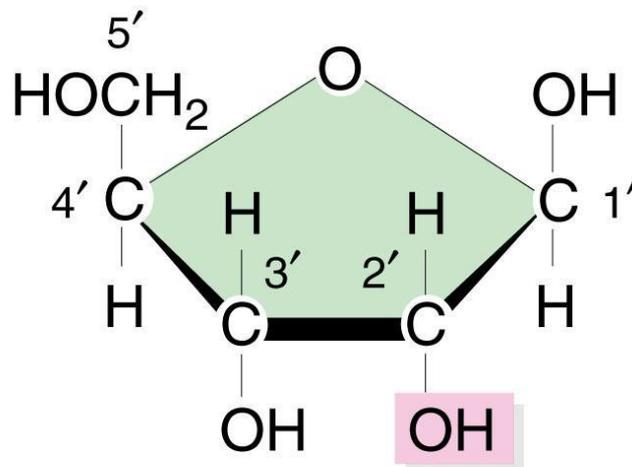


Гуанин

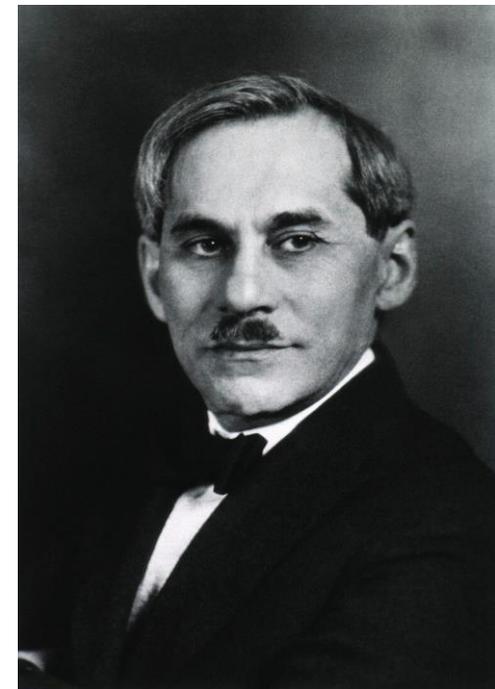
Азотистые основания



Дезоксирибоза



Рибоза



Фибус Левин  
(1863-1940)

**Левин** предположил, что каждая молекула представляет собой цепочку из **четырёх разных нуклеотидов** (тетрануклеотидная гипотеза) и составляет некий **каркас** для белков.

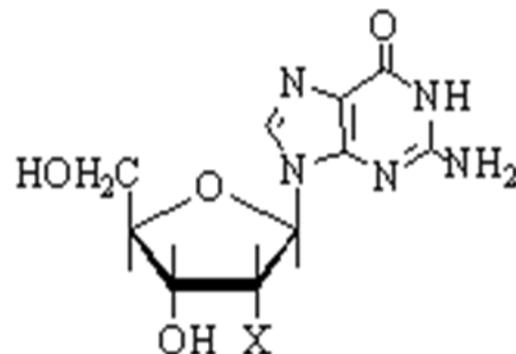
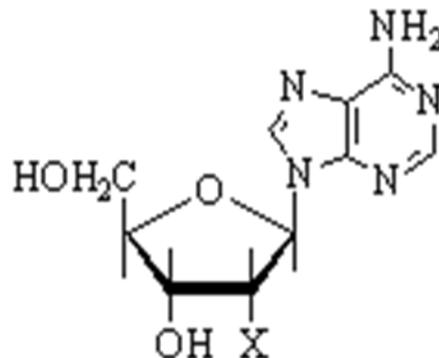
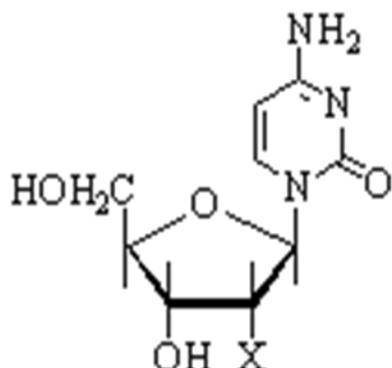
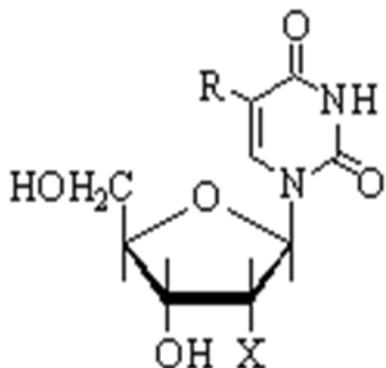
Дальнейшее изучение компонентного состава проводилось в лаборатории **Фибуса Левина** в США. В **1909 г.** ему удалось выделить углевод – необычный пятиатомный сахар **пентозу**, который на тот момент был неизвестен химикам. Его называли **рибозой**. В **1929 г.** выяснилось, что у одного типа рибоз **ОН-группа** при втором атоме углерода заменена на **Н**, поэтому она получила название дезоксирибозы, а нуклеиновые кислоты стали называться **дезоксирибонуклеиновыми** и **рибонуклеиновыми**.

**ТОЛЬКО К ПЕРВОЙ ЧЕТВЕРТИ 20 В. БЫЛИ ОПРЕДЕЛЕНА ВСЕ КОМПОНЕНТЫ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ!**

Исследования показали, что в гидролизатах **нуклеиновых кислот** никогда не встречались соединения, образованные двумя азотистыми основаниями или двумя остатками фосфорной кислоты. **Азотистое основание** всегда соединялось с **рибозой**. Такие соединения назвали **нуклеозидами**. По азотистому основанию их делят на **уридин, тимидин, цитидин, аденозин и гуанозин**.

Пиримидиновые нуклеозиды

Пуриновые нуклеозиды



Уридин (R=H, X=OH)

Цитидин (X=OH)

Аденозин (X=OH)

Гуанозин (X=OH)

Тимидин (R=CH<sub>3</sub>, X=H)

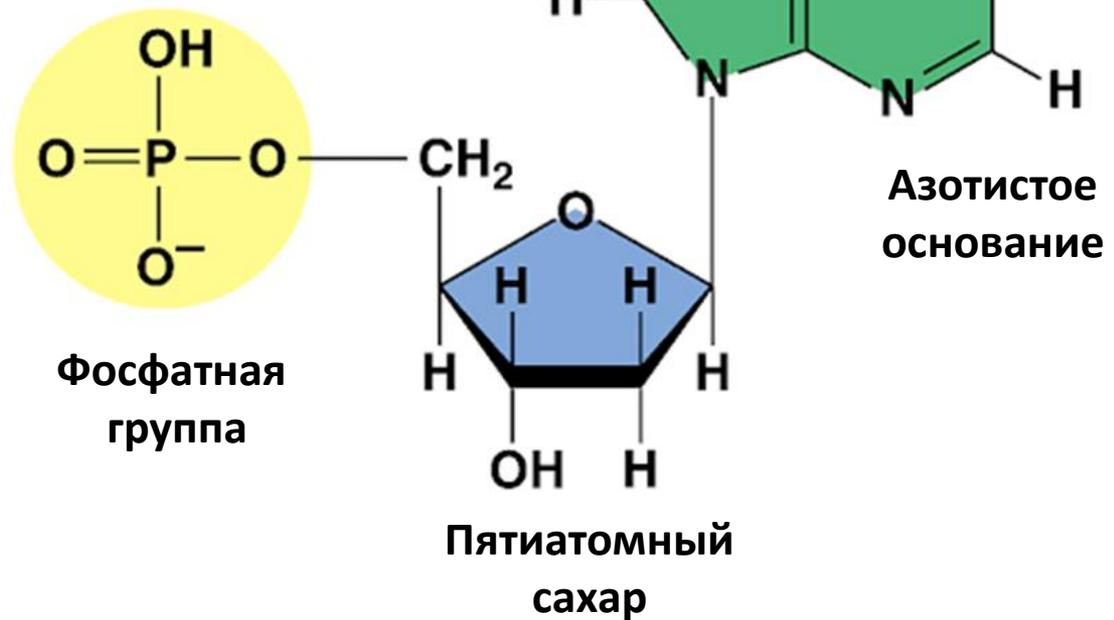
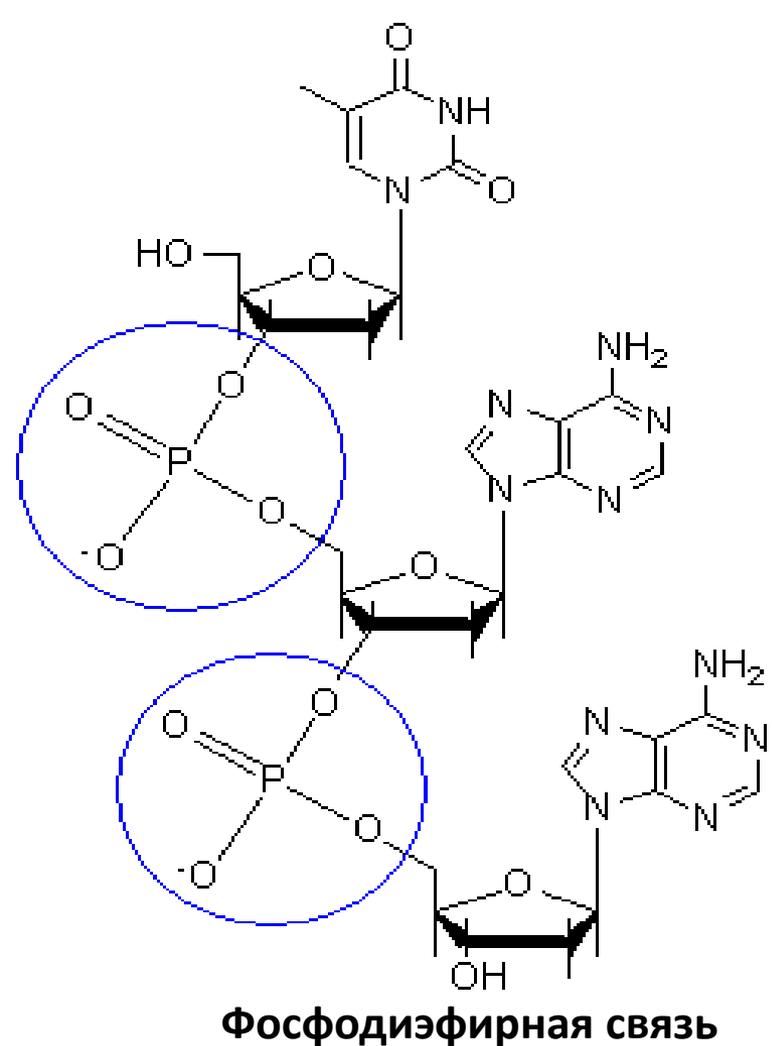
Дезоксицитидин (X=H)

Дезоксиаденозин (X=H)

Дезоксигуанозин (X=H)

### Нуклеозиды ДНК и РНК

Дальше выяснилось, что **фосфорная кислота** связана с **пентозой**. Три компонента, найденных в нуклеиновых кислотах, формируют **нуклеотид** - строительный блок или мономер сложного биополимера. К названию нуклеозида прибавилось количество фосфатных групп: **АМФ** (аденозинмонофосфат), **ГМФ**, **ТМФ** и **ЦМФ**).



Структура нуклеотида

**Левен** также предположил, что нуклеотиды соединяются между собой последовательно **фосфодиэфирными связями** (т.е. остаток фосфорной кислоты связывает пентозы в положении 3' одной и 5' другой), подобно позвонкам в позвоночнике. Основная роль в передаче генетической информации отдавали белкам-упаковщикам – **гистонам**.

# ЭКСПЕРИМЕНТ ГРИФФИТА

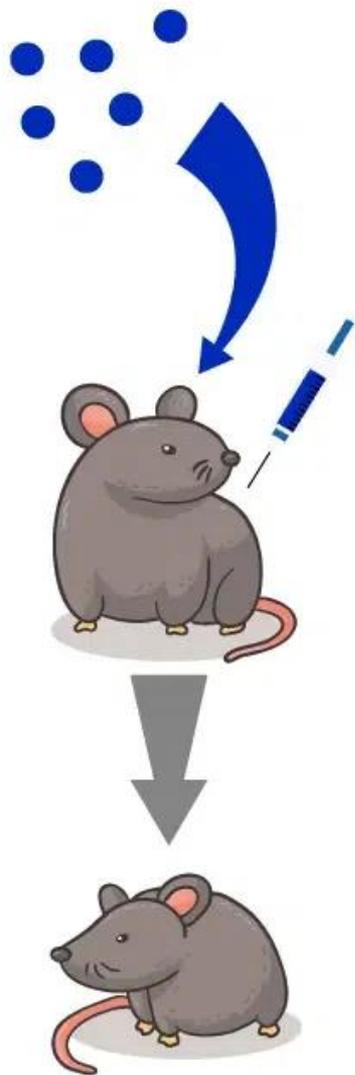


Фредерик Гриффит  
(1877-1941)

В 1928 г. американский микробиолог и генетик **Фредерик Гриффит** изучал штаммы **пневмококка**, вызывающего пневмонию у людей и животных. В ходе эксперимента он обнаружил, что один штамм стал формировать складчатые колонии **R-формы** и утратил вирулентность, в то время как другой формировал блестящие гладкие колонии **S-формы** и сохранил вирулентность. При пересеве на новую питательную среду из гладких колоний вырастали только гладкие бактерии, из складчатых – складчатые (т.е. происходила **передача наследственной информации** из поколения в поколение). Помимо формы, бактерии сохраняли и свои свойства.

**Гриффиту** удалось произвести трансформацию **пневмококков** *in vivo*. Он вводил мышам небольшое количество живых **R-форм** и большие дозы **S-форм**, убитых нагреванием. В результате мыши погибали, причем из погибших животных удалось выделить жизнеспособные **S-формы пневмококков**. Таким образом, стало ясно, что от одного штамма бактерий к другому возможна передача наследственного начала, однако химическая природа его не была обнаружена.

**Шероховатые штаммы (невирулентные)**



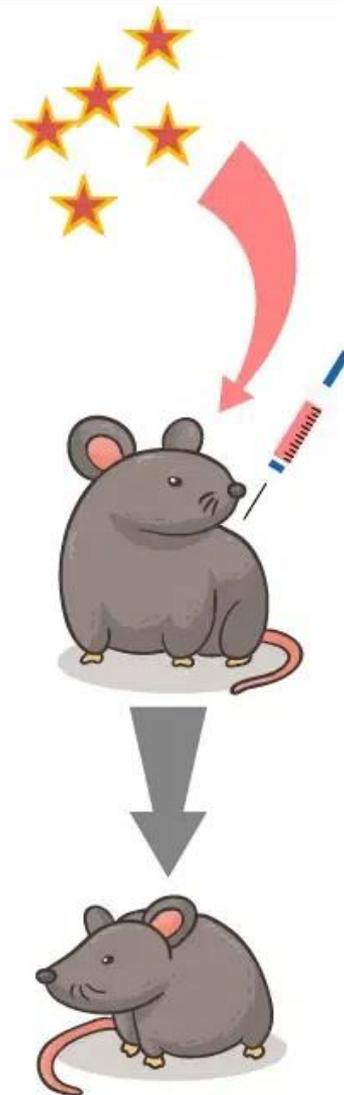
**Живая мышь**

**Гладкие штаммы (вирулентные)**



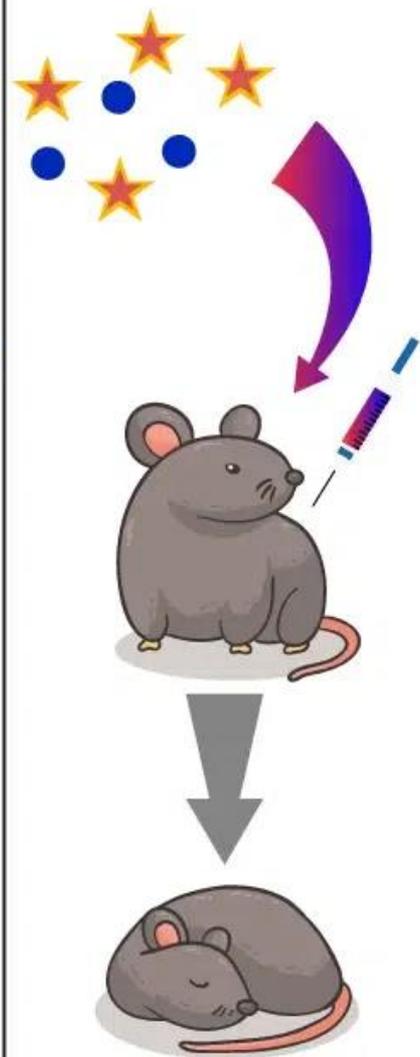
**Мертвая мышь**

**Гладкие штаммы (термическая обработка)**



**Живая мышь**

**Шероховатые и гладкие штаммы (после обработки)**



**Мертвая мышь**

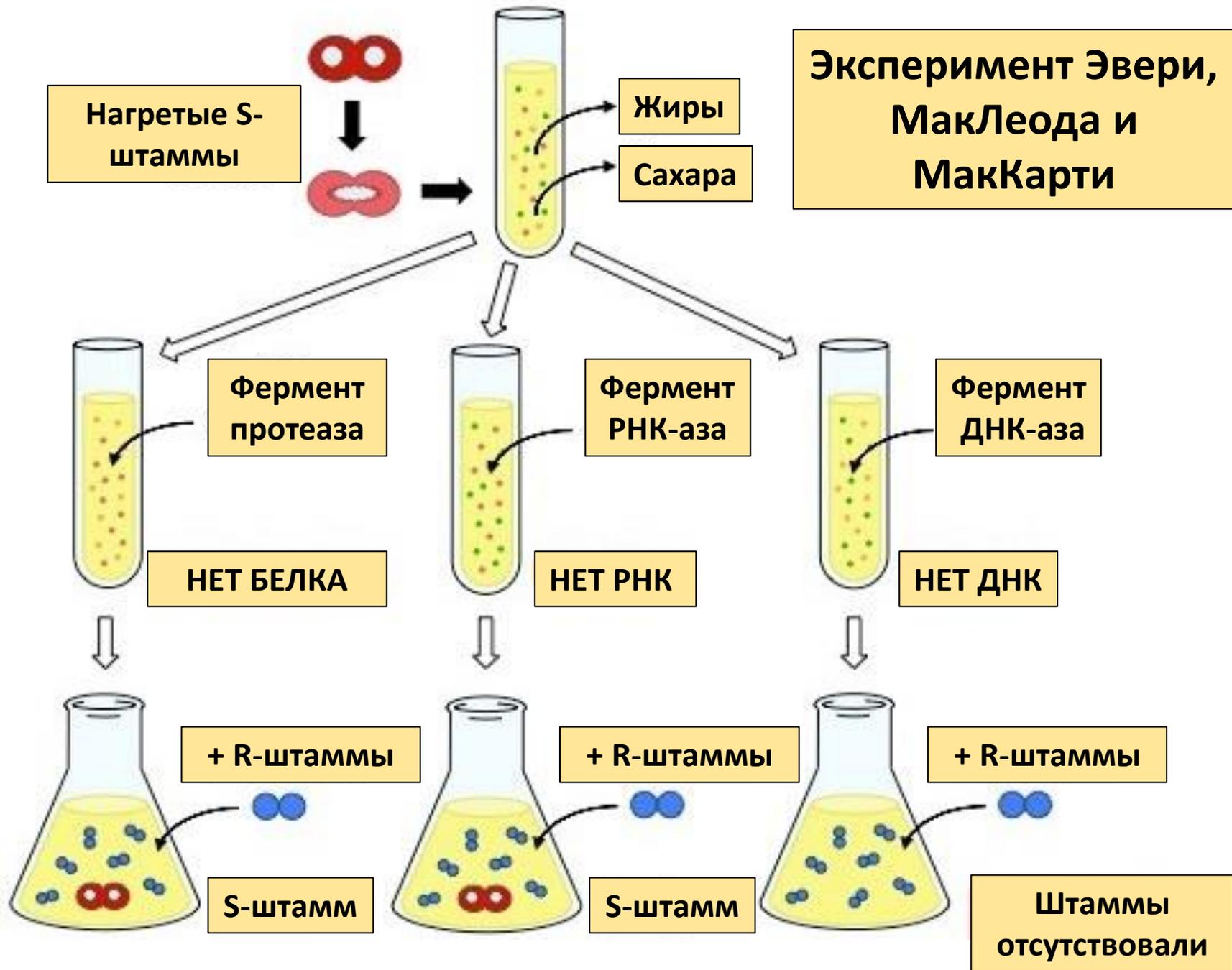
# ОТКРЫТИЕ ОСВАЛЬДА ЭВЕРИ

Сразу после открытия трансформирующего агента **Гриффитом** американский биолог **Освальд Эвери** (вместе с коллегами Колином МакЛеодом и Маклином МакКарти) решил выяснить его химическую природу. Окрасив вещество, он выяснил, что это не что иное, как **дезоксирибонуклеиновая кислота** (ДНК). Вместе с сотрудниками лаборатории он разрушал суспензию пневмококков, удалял из экстракта белки и сахара, пересаживал спиртом, обрабатывал ферментами, однако выделенное вещество не теряло своих трансформирующих свойств. Только после обработки **ДНКазой** (ферментом, разрушающим **ДНК**), молекула утрачивала свою активность.

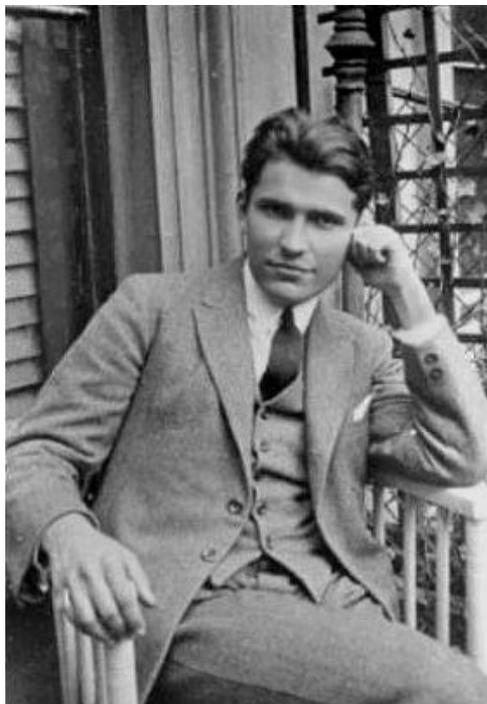
**Эвери** сделал вывод, что **носитель генетической информации**, который ученые искали уже много лет, состоит из **нуклеиновых кислот**. Хотя некоторые ученые все еще считали, что некие **белковые примеси**, которые оставались в **ДНК** могли вызвать трансформацию бактерий, большинству стало ясно, что именно **главными** в хромосоме являются не белки, а нуклеиновые кислоты. Это открытие положило начало эре исследования ДНК.



Освальд Эвери  
(1877-1955)



# ПРАВИЛО ЧАРГАФФА



Под влиянием открытия Эвери, биохимик **Эрвин Чаргафф** начал искать закономерности в **ДНК** разных видов. Несмотря на различия в последовательности **нуклеотидов**, **ДНК** подчинялась общим правилам: в каждом образце **ДНК** число молекул **аденина** было равно числу молекул **тимина**, а **гуанина** – молекул **цитозина**, количество **пуринов** – количеству **пиримидинов**. Своим открытием, сделанном в **1950 г.**, он доказал, что **ДНК** не состоит из повторяющихся **тетрануклеотидов**, а представляет собой более сложную структуру, и заложил базу для определения **двухцепочной молекулы ДНК**.

Эрвин Чаргафф

**Первое правило Чаргаффа:**

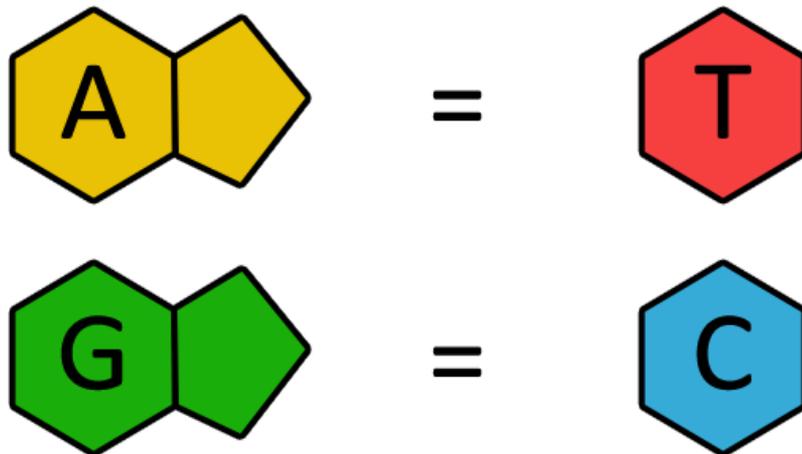
$$A/T = G/C = 1$$

**Второе правило Чаргаффа:**

$$A+G=C+T$$

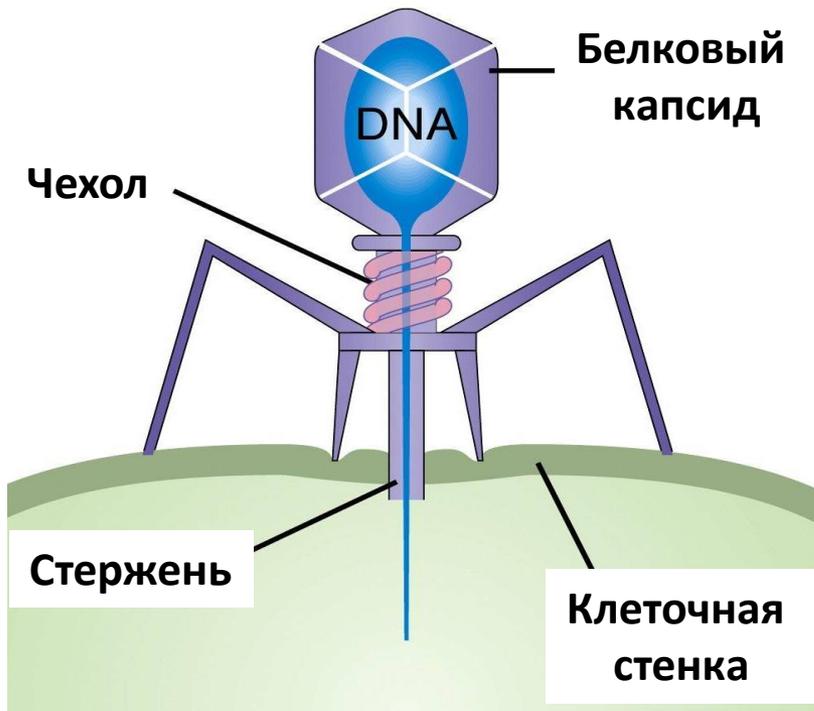
**Третье правило Чаргаффа:**

$$A+C=G+T$$



# ЭКСПЕРИМЕНТ ХЕРШИ-ЧЕЙЗ

Окончательно роль ДНК в 1952 г. доказали **Альфред Херши** и **Марта Чейз**. В основу их эксперимента лег факт, что **фосфор** содержится в ДНК, а **сера** в белках. Ученые получили радиоактивные **изотопы фосфора** и **серы**, обогатили ими питательную среду, на которой выращивались **бактерии**, а потом заразили их **бактериофагами**. Клетки были набиты новыми фагами, а на их поверхности остались пустые **оболочки** вируса. Используя блендер, **Чейз** удалось отделить клетки от оболочек и проанализировать наличие изотопов и там и там.



Строение бактериофага

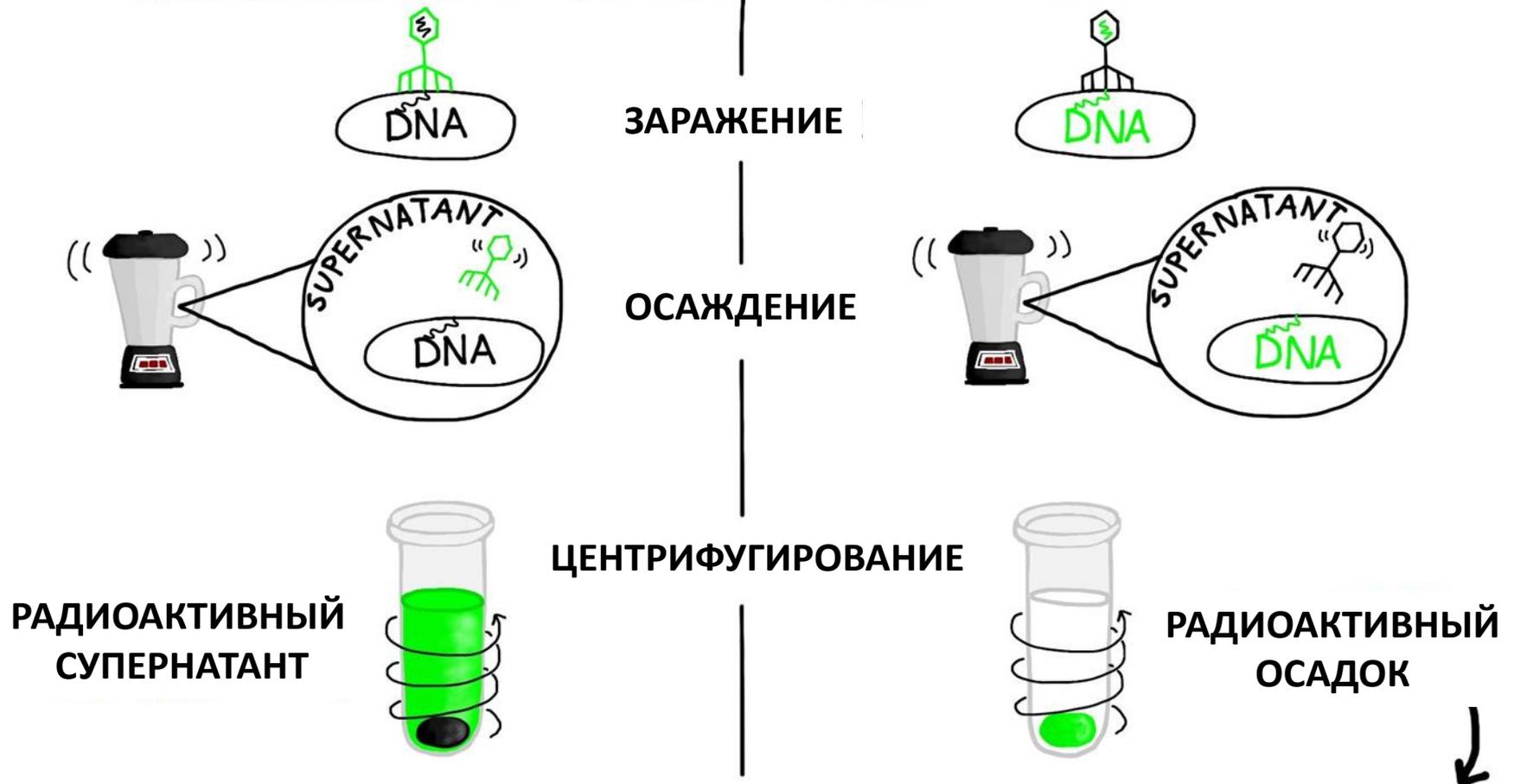


Чейз (1927-2003) и Херши (1908-1997)

РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ  
СЕРЫ В БЕЛКЕ

VS.

РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ ФОСФОРА  
В НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТАХ

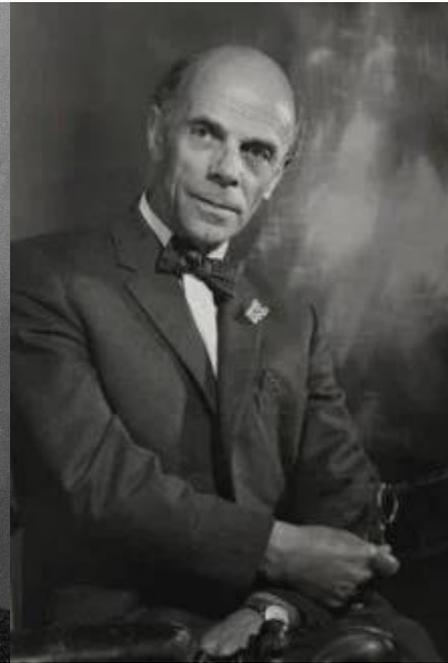
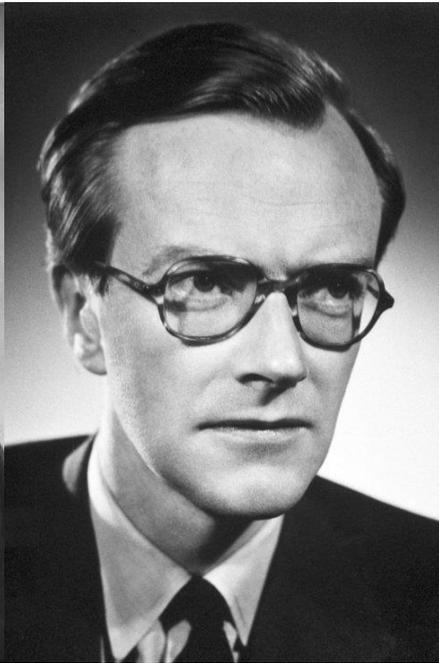


НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ – МОЛЕКУЛЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ  
И ИЗМЕНЧИВОСТИ

За это открытие в 1965 г. Альфред Херши (без Марты Чейз)  
получил Нобелевскую премию.

# ОТКРЫТИЕ ДВУХЦЕПОЧНОЙ СПИРАЛИ ДНК

В 1951 г. Морис Уилкинс, работая с образцами ДНК, обнаружил, что они представляют собой **тонкие длинные** волокна. Он передал их **Джону Рэндаллу**, под руководством которого работали физики **Рэймонд Гослинг** и **Розалин Франклин**. Они сделали снимки рентгеновской дифракции и обнаружили, что ДНК существует в **двух формах: А** (укороченное волокно) и **В** (длинное).



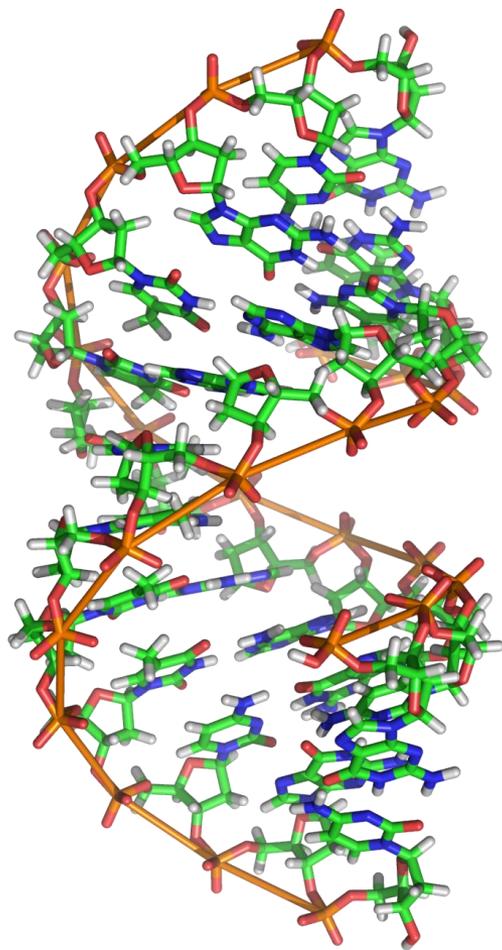
Розалинд Франклин  
(1920-1958)

Морис Уилкинс  
(1916-2004)

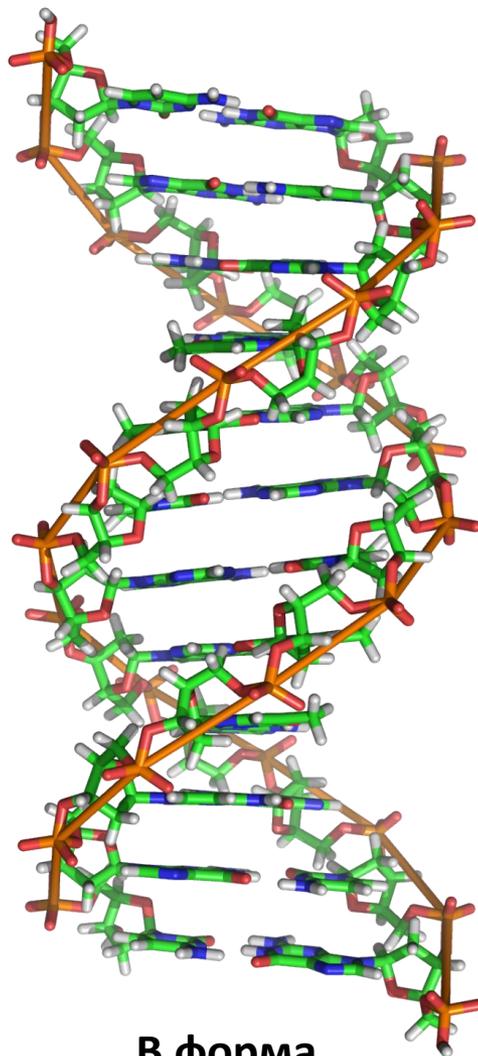
Рэймонд Гослинг  
(1926-2015)

Джон Рэндалл  
(1905-1984)

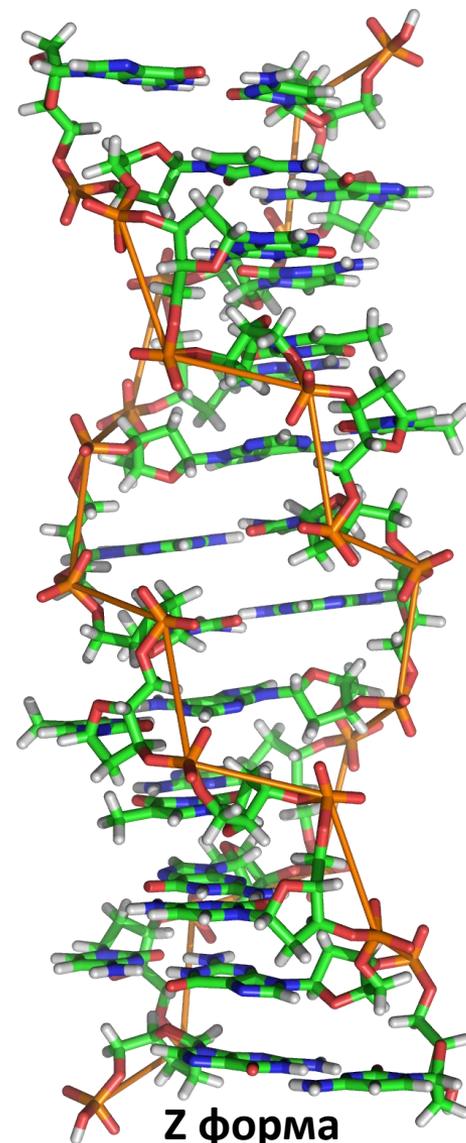
Дальнейший анализ показал, что обе формы, скорее всего, имеют **спиральную структуру**. Франклин доложила об этом в **1951 г.**



**А форма**



**В форма**



**З форма**

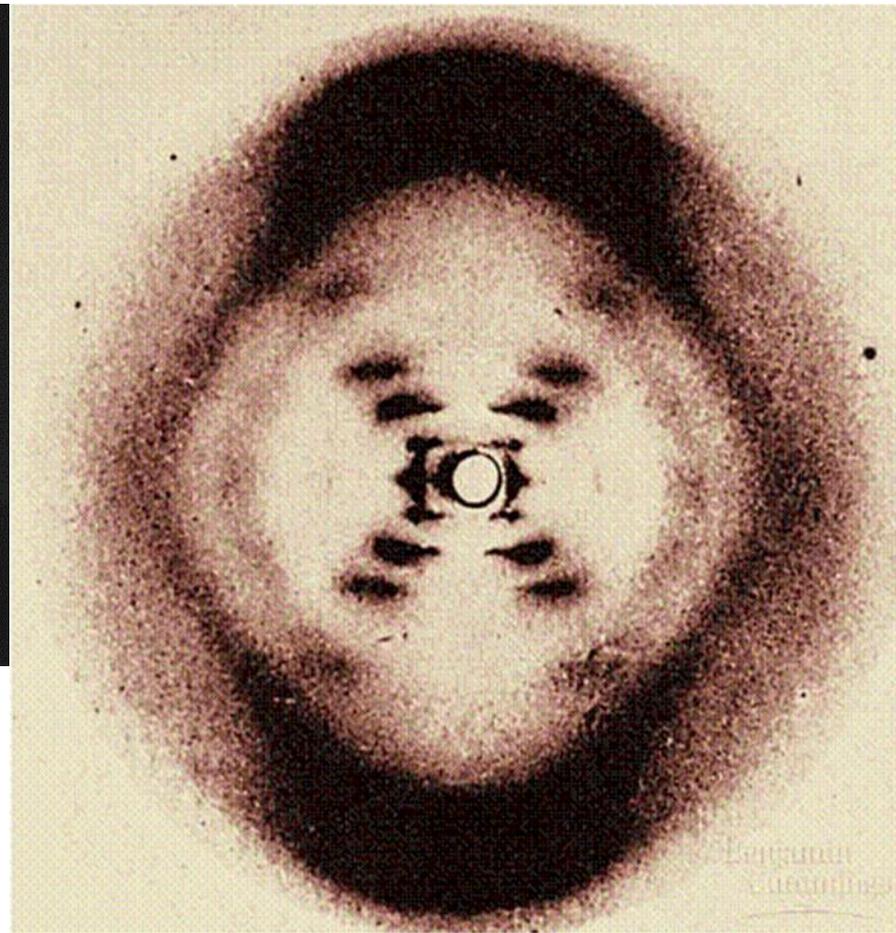
*«Результаты позволяют предположить спиральную структуру (которая должна быть очень плотно упакована), содержащую 2, 3 или 4 закрученных вокруг одной оси цепи нуклеиновых кислот на каждом витке спирали». (с) Розалинд Франклин.*



Джеймс Уотсон  
(1928-наст.время)



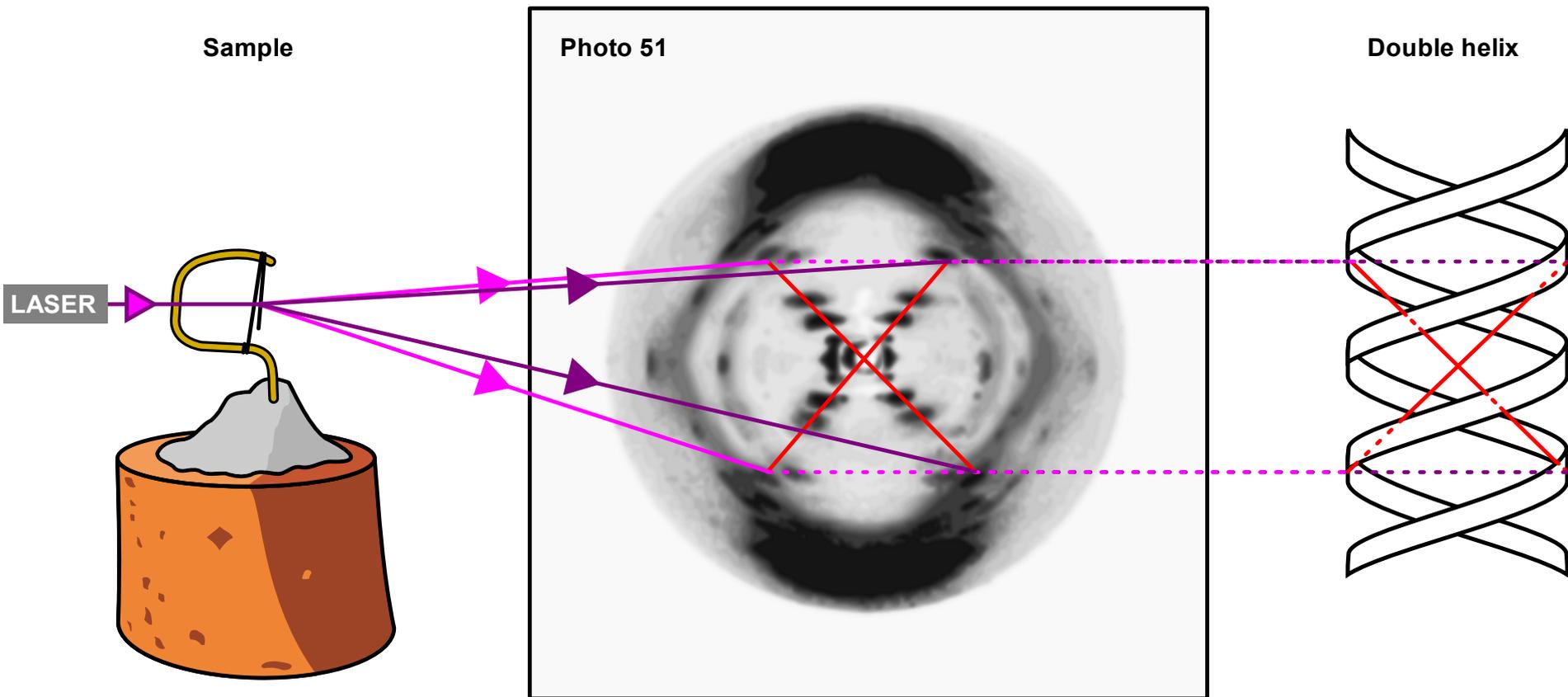
Френсис Крик  
(1916-2004)



Фотография 51

Гослинг передал физику **Френсису Крику** и биологу **Джеймсу Уотсону** лучший дифракционный снимок, известный как «**фотография 51**».

Оставалось определить сколько цепей уложено в спираль. **Уотсон** и **Крик** знали, что **ДНК** представляет собой цепь нуклеотидов, связанных между собой фосфатными группами. Они предположили, что в спирали две цепи, причем **азотистые основания** находятся внутри, а **фосфатные группы** снаружи. Позже они утверждали, что создали модель благодаря **правилам Чаргаффа**.



Расшифровка «фотографии 51»

Несмотря на то, что публикации **Франклин**, **Гослинга** и **Уилкинса** вышли одновременно со статьей **Уотсона** и **Крика**, приоритет был отдан последним. **Франклин** не упомянула о принципе **парной** организации **оснований**. В **1962 г.** **Уотсон** и **Крик** за свое открытие получили **Нобелевскую премию**. **Гослинга**, хотя именно он и получил «фотографию 51», благодаря которой и была разработана модель молекулы ДНК и после подтверждена **правилом Чаргаффа** (а не наоборот), в числе победителей не было.

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

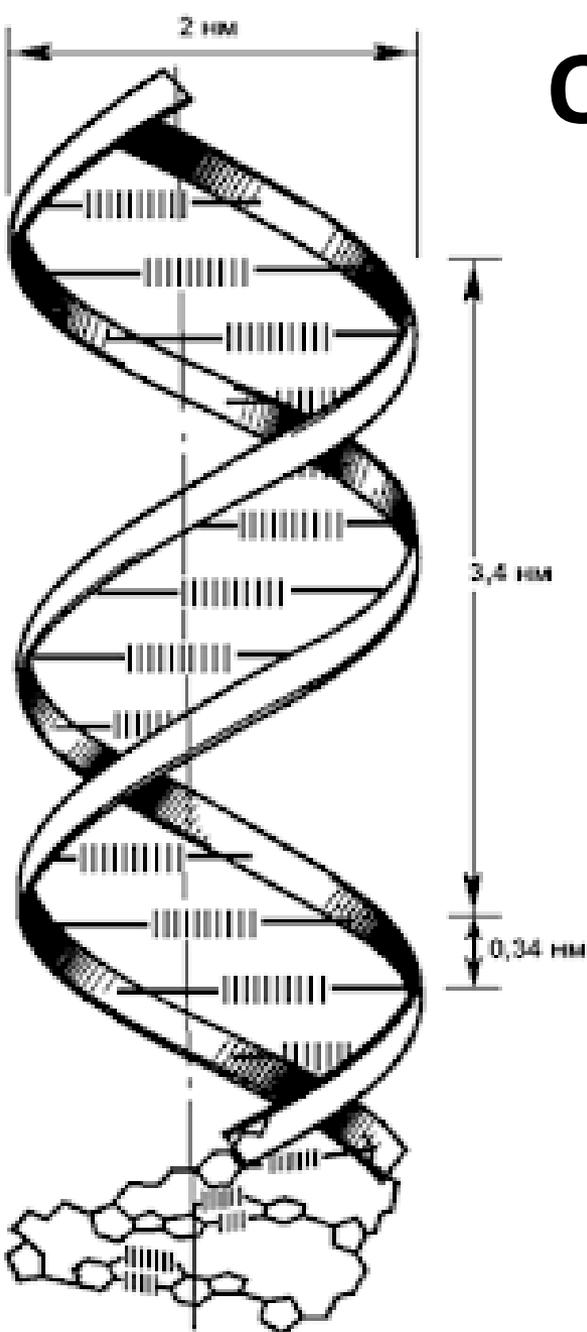
**ДНК** состоит из двух цепей, которые ориентированы в **противоположных** направлениях.

**Азотистые основания** двух цепей соединены **водородными связями** и комплементарны друг другу (правило **Чаргаффа**)

Обе цепи закручены в **спираль**, по длине которой чередуются **большие** и **малые бороздки**

**Диаметр** двойной спирали составляет **2 нм**, что позволяет «упаковать» ее в любую клетку

Полный оборот спирали составляет **3,4 нм** и включает **10 азотистых оснований**

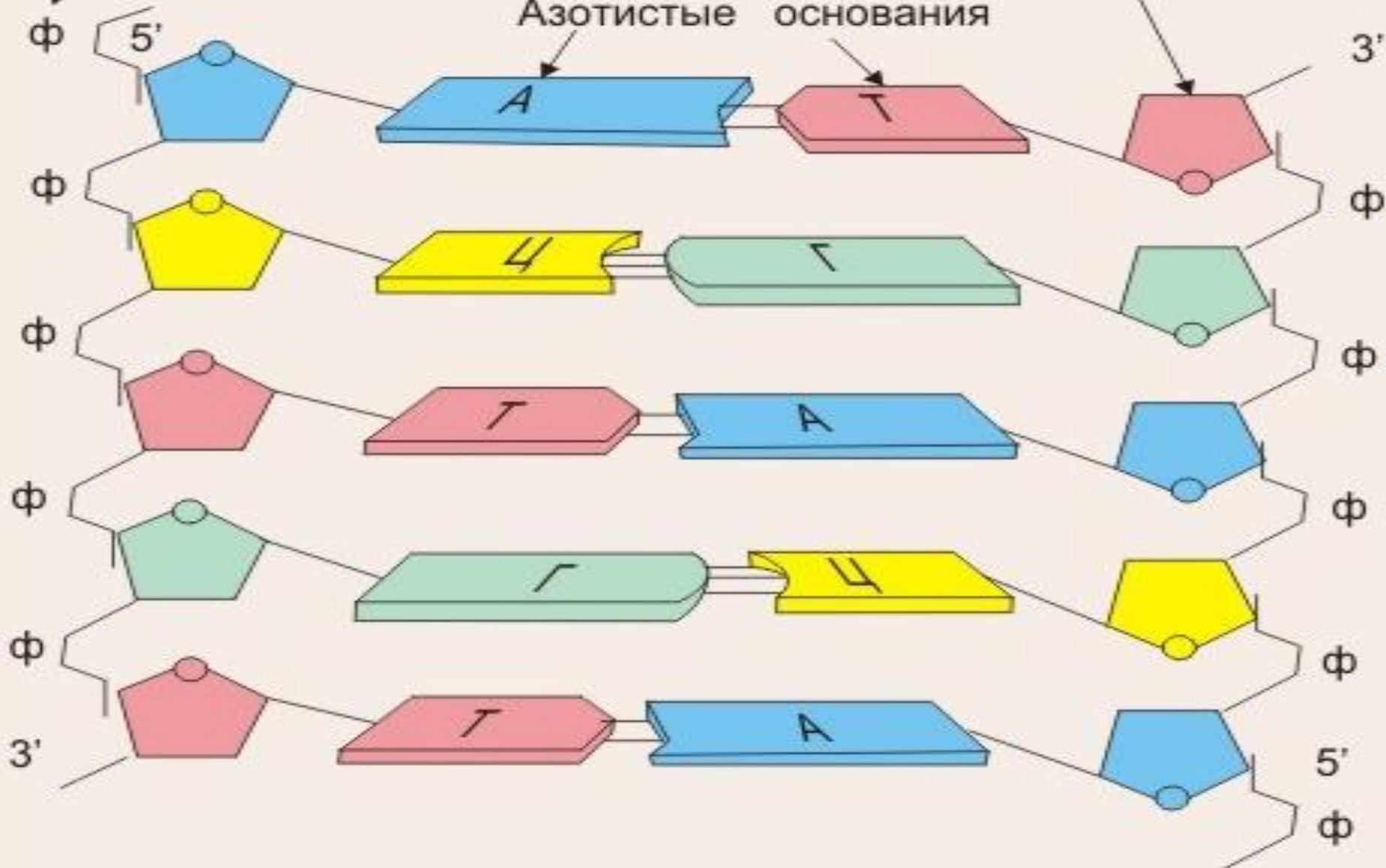


Модель ДНК Уотсона-Крика

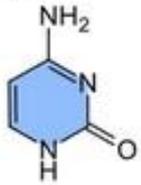
Остаток фосфорной кислоты

Дезоксирибоза

Азотистые основания

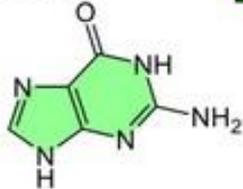


Цитозин



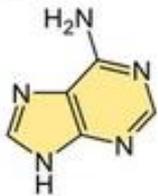
**C**

Гуанин



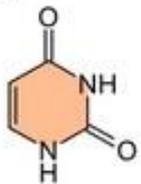
**G**

Аденин



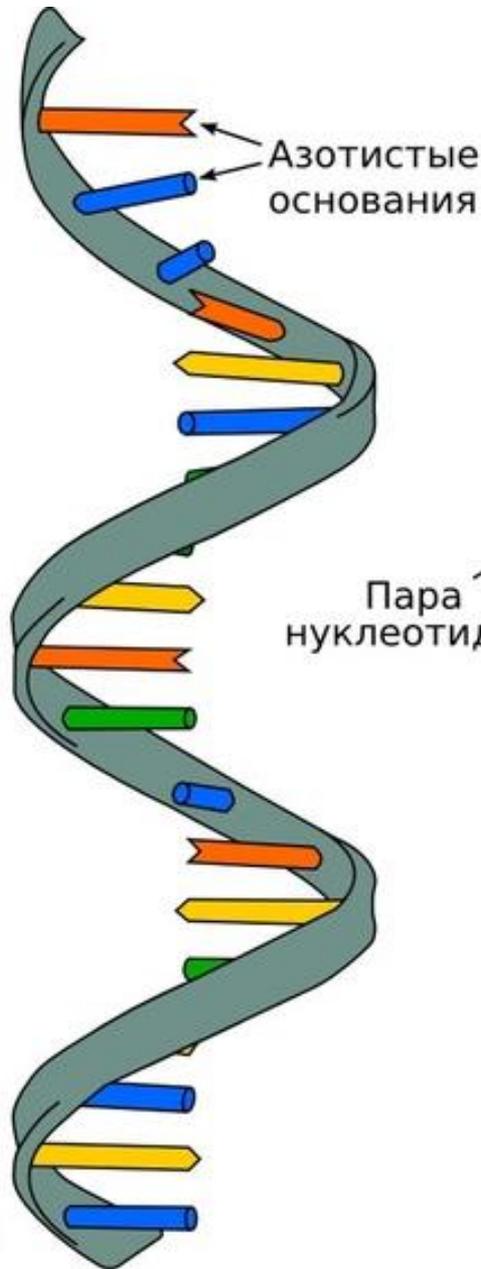
**A**

Урацил



**U**

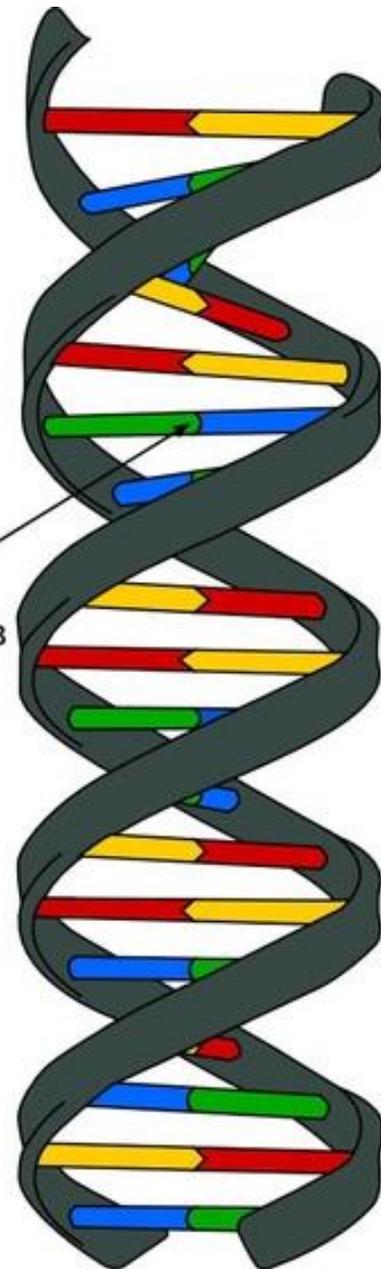
Азотистые основания РНК



**РНК**

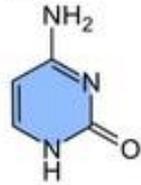
Азотистые основания

Пара нуклеотидов



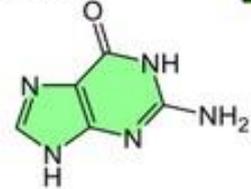
**ДНК**

Цитозин



**C**

Гуанин



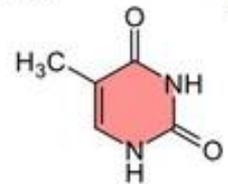
**G**

Аденин



**A**

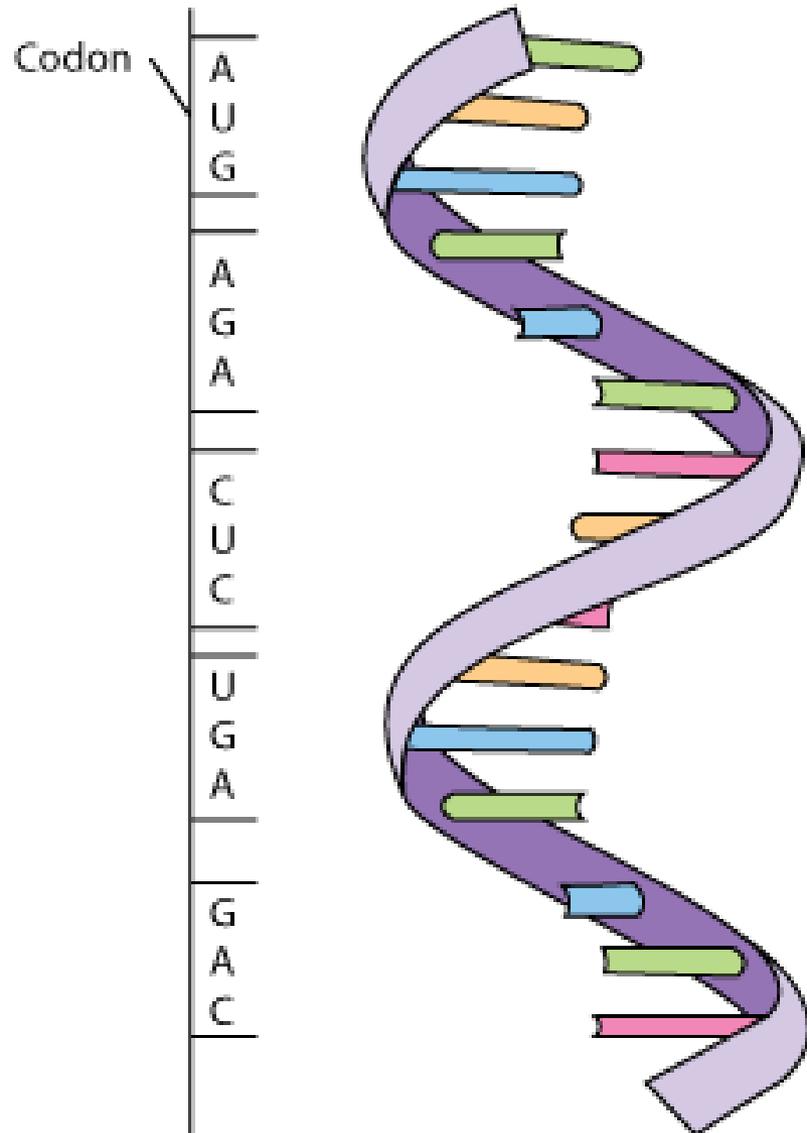
Тимин



**T**

Азотистые основания ДНК

Открытие структуры (не состава!) **ДНК** помогло решить множество проблем генетики и молекулярной биологии. В частности ответить на вопрос о **природе наследования** признаков и превращения их в белковые продукты.



## КОНЦЕПЦИЯ «ГЕН-БЕЛОК»

- 📌 Белки состоят из аминокислот, гены – из нуклеиновых кислот;
- 📌 4 азотистых оснований могут образовывать **64** различных трехбуквенных сочетания;
- 📌 Каждая из **20** аминокислот кодируется тремя нуклеотидами;
- 📌 Чтобы получить необходимый белок нужно аминокислоты в определенной последовательности (**трансляция**);
- 📌 Чтобы получить эту последовательность, нужно скопировать ту часть **ДНК**, которая отвечает за синтез данного белка (**транскрипция**);
- 📌 Данные о **связи** нуклеотидной последовательности и аминокислоты содержатся в **генетическом коде**.

# ТАБЛИЦА ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОДА

	U	C	A	G			
U	UUU UUC	UCU UCC UCA UCG	UAU UAC	UGU UGC UGA UGG			
	UUA UUG		UAA UAG				
	CUU CUC		CCU CCC CCA CCG		CAU CAC	CGU CGC CGA CGG	
	CUA CUG				CAA CAG		
A	AUU AUC	ACU ACC ACA ACG		AAU AAC	AGU AGC AGA AGG		
	AUA AUG			AAA AAG			
	G		GUU GUC	GCU GCC GCA GCG		GAU GAC	GGU GGC GGA GGG
			GUA GUG			GAA GAG	

фенилаланин

серин

тирозин

цистеин

лейцин

стоп-кодон

стоп-кодон

триптофан

лейцин

пролин

гистидин

аргинин

глутамин

изолейцин

треонин

аспарагин

серин

метионин

лизин

аргинин

валин

аланин

аспарагиновая кислота

глицин

глутаминовая кислота

# ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД И ЕГО СВОЙСТВА

Генетический код  
триплетен, т.е.  
одна аминокислота  
кодируется  
исключительно 3  
нуклеотидами

Генетический код  
специфичен, т.е.  
один триплет  
кодирует только  
одну аминокислоту

Генетический код  
избыточен, т.е.  
одна аминокислота  
может кодиро-  
ваться несколь-  
кими триплетами

Генетический код  
однонаправлен,  
т.е. транскрипция  
идет от от 5' к 3'  
концу

Генетический код  
неперекрывается,  
т.е. один нуклеотид  
может входить в  
состав только  
одного триплета

Генетический код  
универсален, т.е.  
все живые орга-  
низмы состоят из  
одних и тех же  
аминокислот

В генах отсутствуют т.н. «**знаки препинания**», т.е. ненуклеотидные вставки. Начало гена обозначает **старт-кодон** (1 триплет), конец гена – **стоп-кодон** (три различных триплета). Помимо **кодирующих**, существуют и **некодирующие последовательности** (интроны), **регуляторные последовательности** и «**мусорная ДНК**», чья роль еще уточняется.