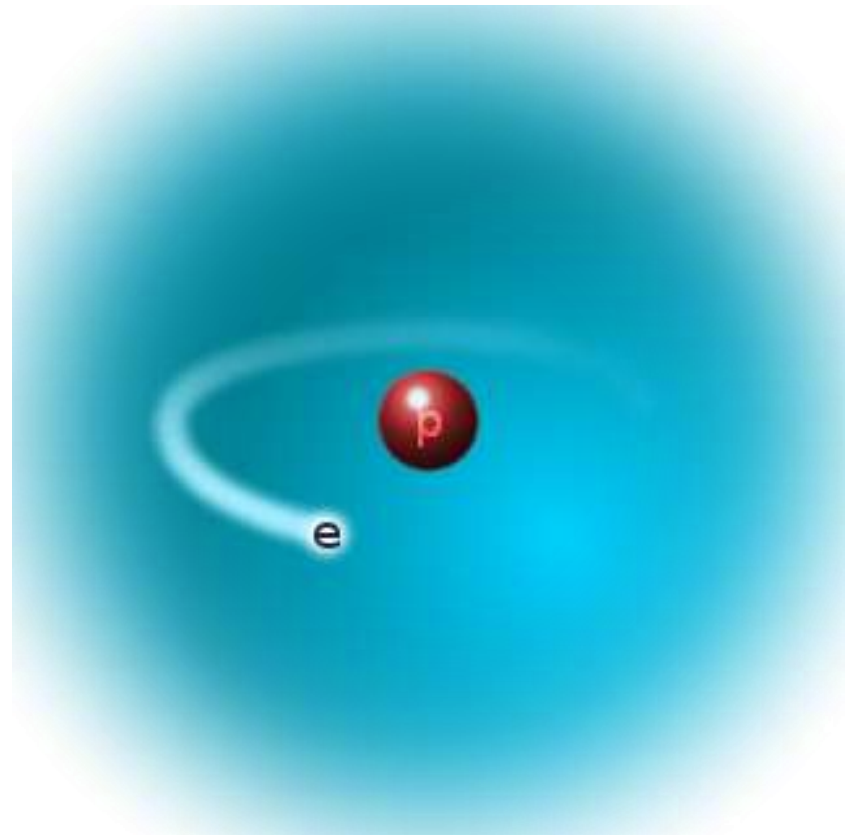
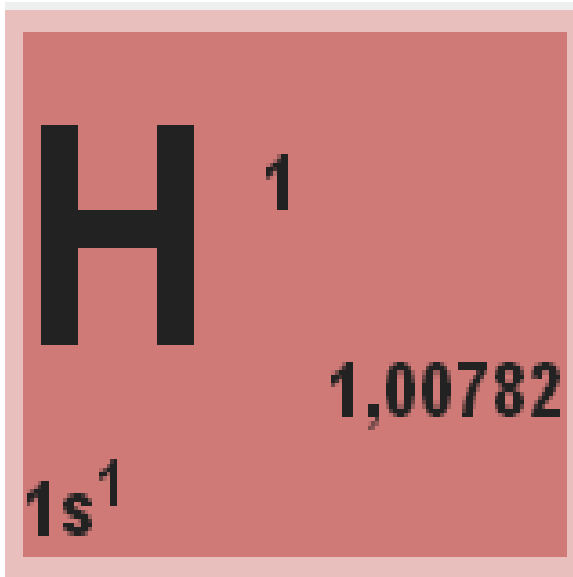


Химия элементов.

Водород

Лекция курса
«Общая и неорганическая химия»
для 11-х классов СУНЦ
В.В.Загорский

Водород (Hydrogen)

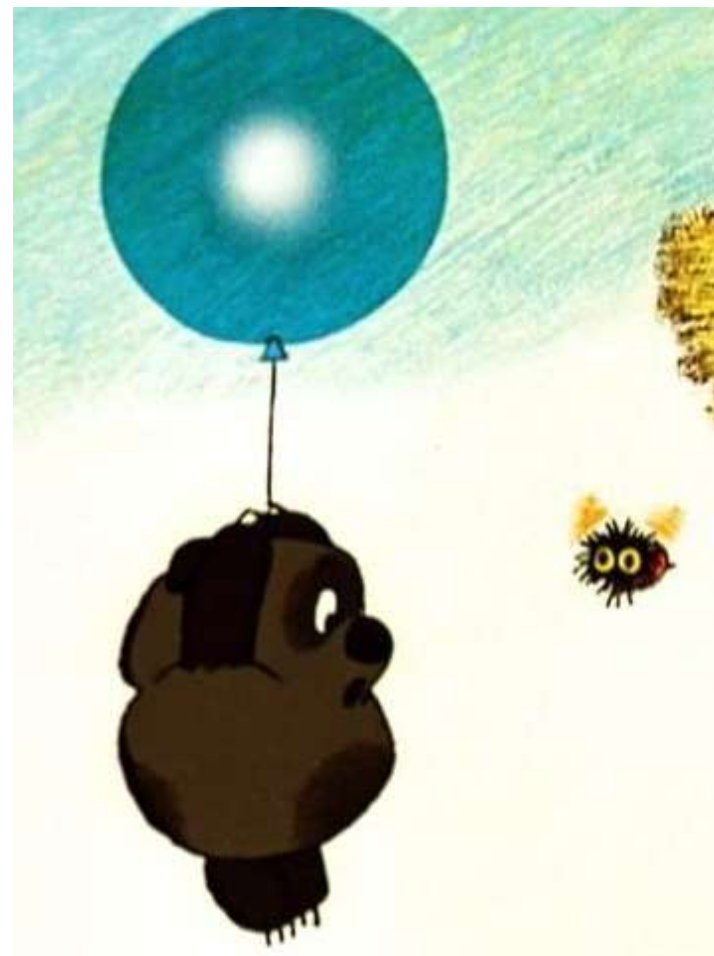


Водород (Hydrogen)

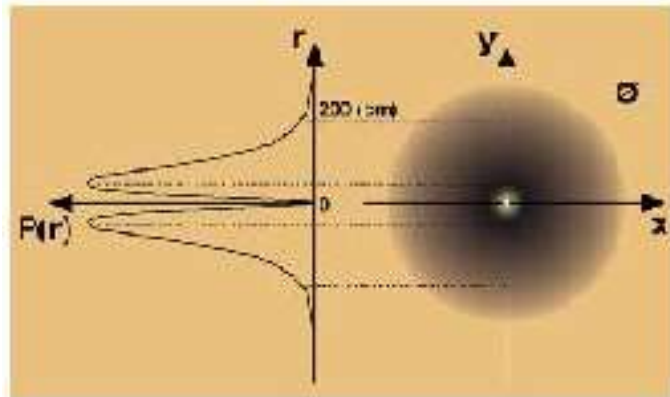
При обычных условиях водород — **легкий** (плотность при н.у. $0,0899 \text{ кг/м}^3$) бесцветный **газ**.

Температура плавления $-259,15^\circ\text{C}$,
температура кипения $-252,7^\circ\text{C}$.

Жидкий водород (при температуре кипения) обладает плотностью $70,8 \text{ кг/м}^3$ и является **самой легкой жидкостью**.



Изменение размеров при ионизации атома водорода



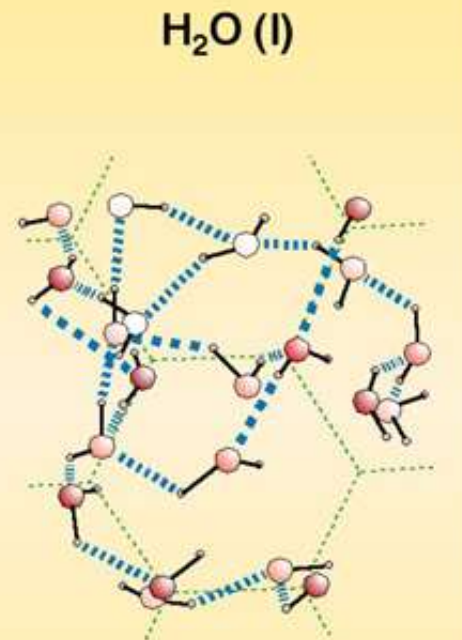
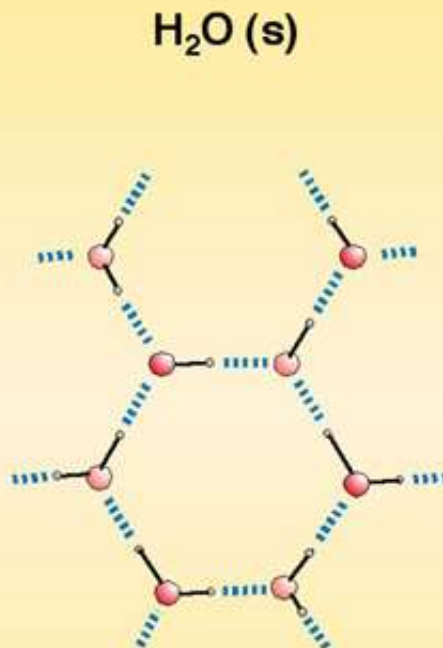
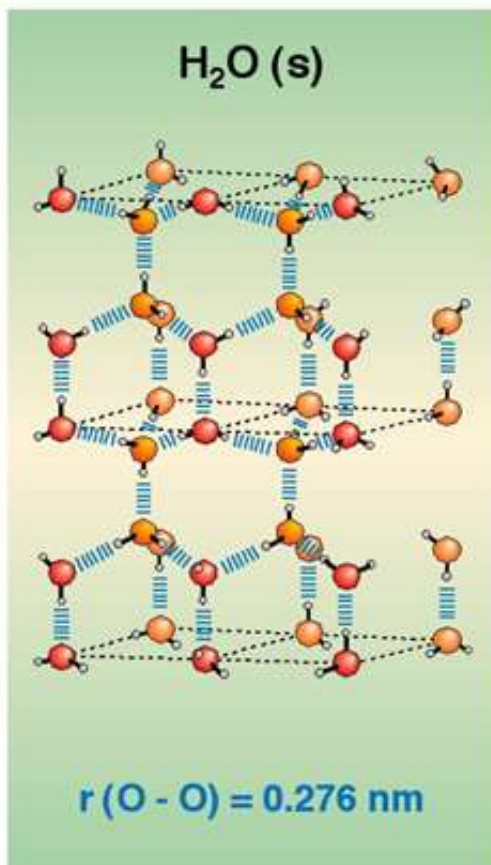
$$0,5 \cdot 10^{-10} \text{ M}$$



$$1,2 \cdot 10^{-15} \text{ M}$$



Водородные связи и структура воды



Сверхкрупные атомы водорода

размеры атомов по Борю		переход	длина волны		
0,1 мм	1000		733 → 732	18 м	РИ АН УССР; 1983
			632 → 631	11,5 м	РИ АН УССР; 1979
			539 → 538	7,12 м	ФИАН, ГЛИШ; 1983
			428 → 427	3,56 м	ФИАН, ГАИШ; 1983
10 ⁻³ мм	100		105 → 104	5,21 см	ГАО, 1964
			91 → 90	3,38 см	ФИАН, 1964
			57 → 56	8,23 мм	ФИАН, 1968
10 ⁻⁵ мм	10		7 → 6	12,3 мкм	Хамфри; 1953
	7		6 → 5	7,46 мкм	Пфунд; 1924
	6		5 → 4	4,05 мкм	Брокет; 1922
	5		4 → 3	1,87 мкм	Пашен; 1903
	4		3 → 2	0,656 мкм	Кальмер; 1885
	3		2 → 1	0,121 мкм	Лайман; 1906
	2				
10 ⁻⁷ мм	1				

Топливные баки «Шаттла» для жидких H_2 ($d=0,07$) и O_2 ($d = 0,43$)

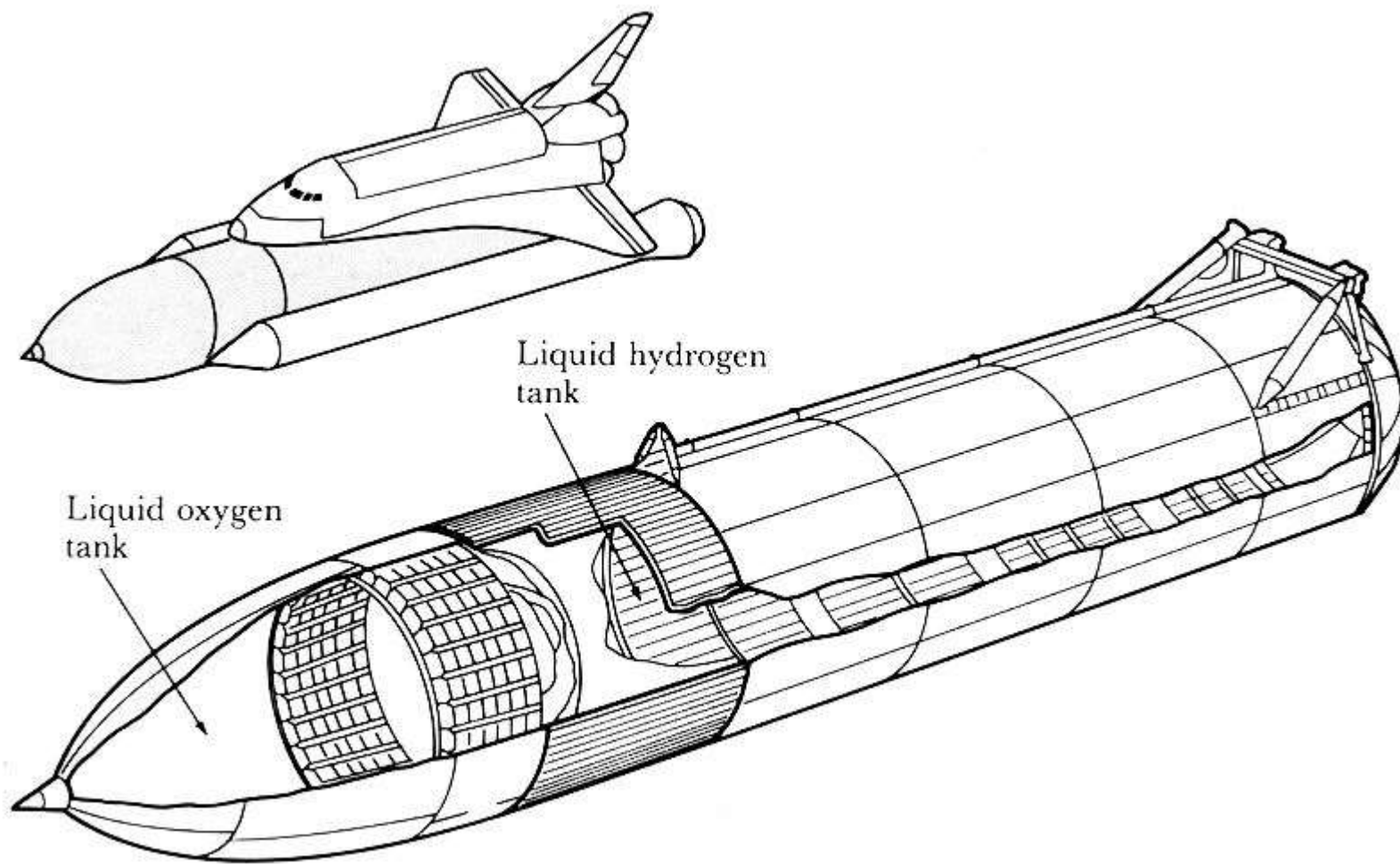
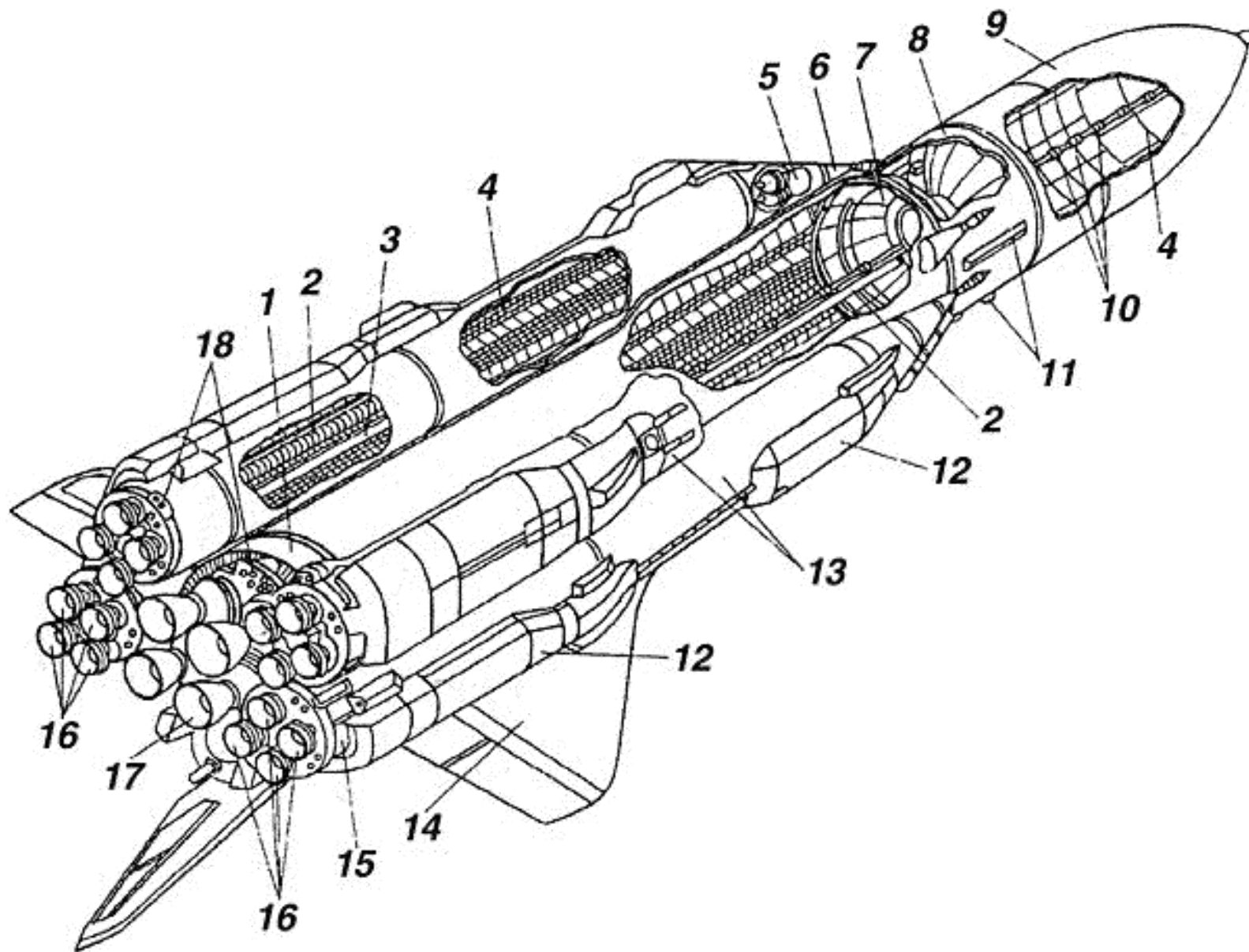


Схема РКК Энергия



Беспилотник на жидком водороде (США, 2002)



NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
<http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/index.html>
NASA Photo: ED02-0161-2 Date: June 24, 2002 Photo by: Nick Galante

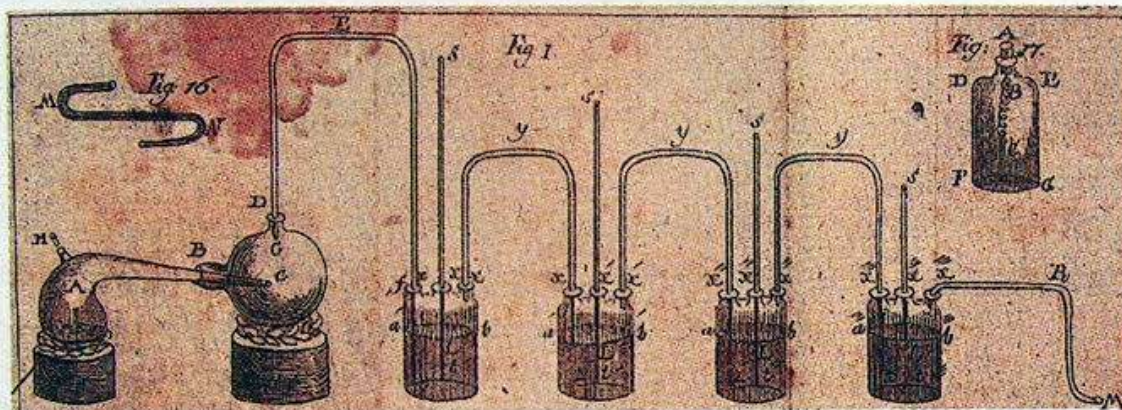
Pathfinder-Plus flight in Hawaii

Самолет Ту-155 с топливом - жидким водородом (1988 г)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ САМОЛЕТ ТУ-155



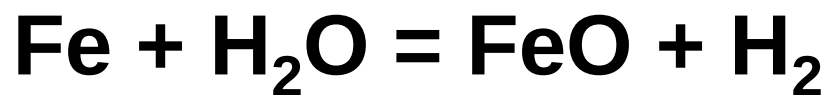
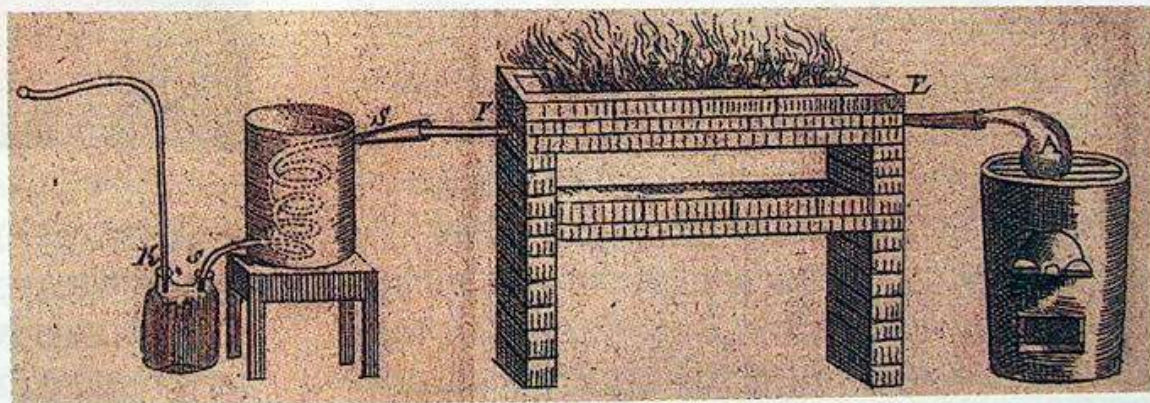
Опыты А.Л.Лавуазье - получение водорода



Приборы для получения водорода действием кислоты на металл (1) и для разложения воды (2). Из книги А. Л. Лавуазье «Основы антифлогистонной химии». Издание 1792 г.

► Пары воды, нагретой до кипения в реторте А, пропускают через накалённую на жаровне железную трубку EF. Образующийся водород собирают над водой в сосуд К. Пары воды, не вступившие в реакцию, охлаждаются в холодильнике S, вода конденсируется в сосуде К.

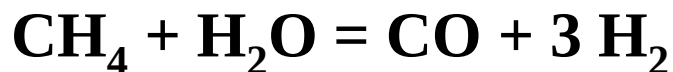
2



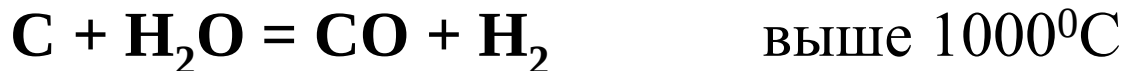
Получение водорода



Основной метод получения водорода в промышленности – **конверсия метана** при 800-1100⁰С (катализатор):



«Водяной газ»:

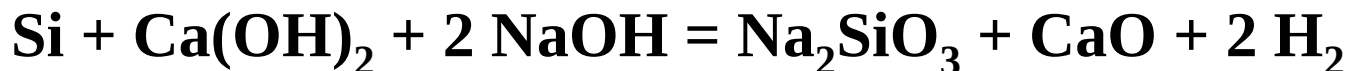


Затем конверсия СО:



Коксовый газ: около **55% водорода**, 25% метана, до 2% тяжелых углеводородов, 4-6% СО, 2% СО₂, 10-12% азота.

Водород, как продукт горения:



На 1 кг пиротехнической смеси выделяется до 370 л Н₂

Жесткий дирижабль LZ-129 "Гинденбург" (1936)

Объем 200.000 куб.м, длина 248 м, диаметр 41 м,
грузоподъемность - 120 т, скорость - 135 км/ч.



Ресторан на дирижабле LZ-129 "Гинденбург"



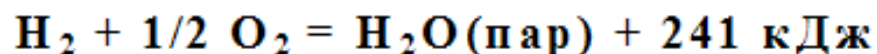
Дирижабль «Гинденбург» 06.05.1937



Взрыв дирижабля «Гинденбург» 06.05.1937



Фото: http://info.dolgopa.org/album/06_17.htm



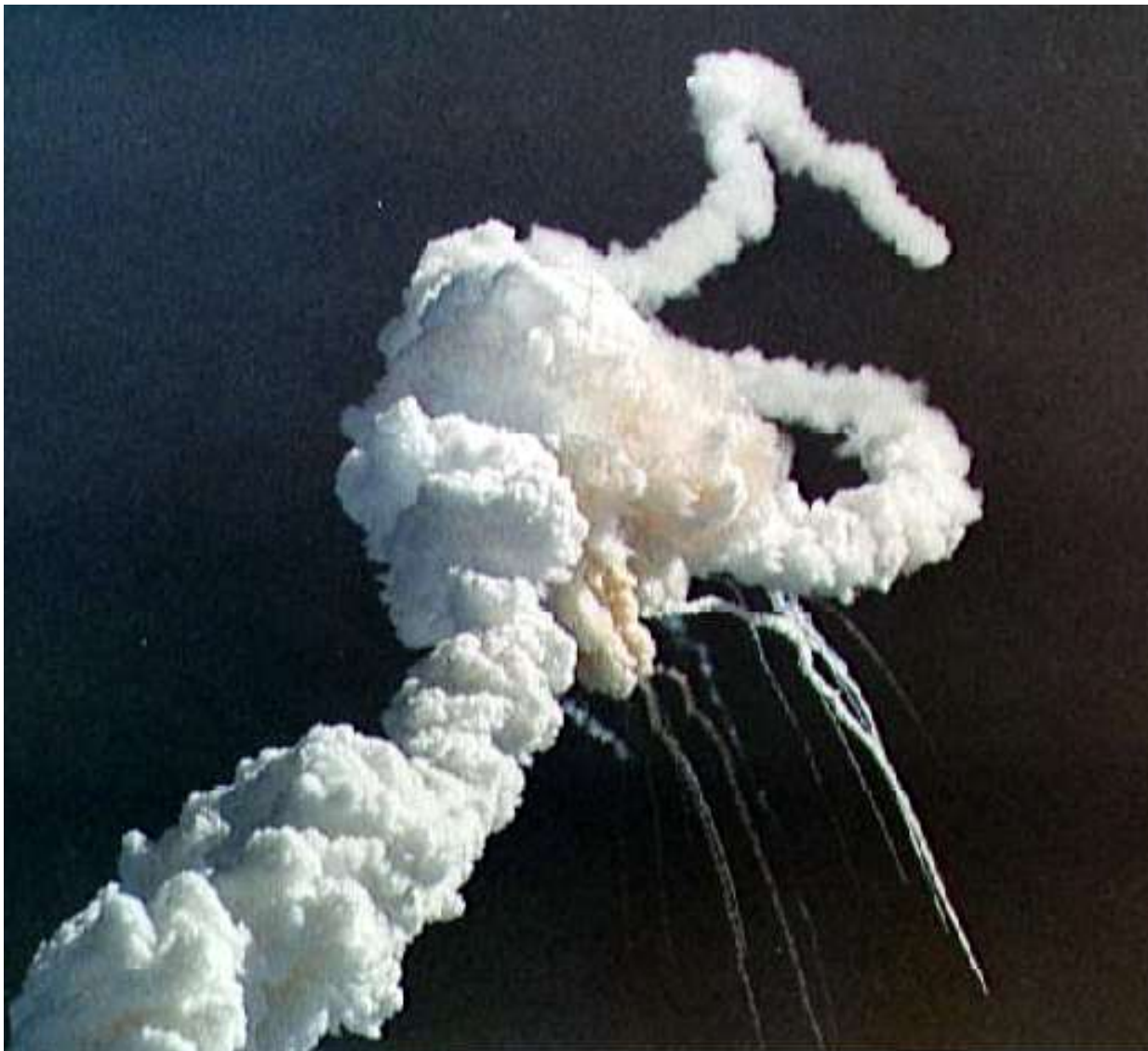
Последовательность процессов при горении водорода в кислороде:

1)	$\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot\text{OH}$	Зарождение цепи
2)	$\text{H}_2 + \text{M} \rightarrow 2 \text{H}\cdot + \text{M}$	
3)	$\text{O}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}_3$	
4)	$\cdot\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$	Продолжение цепи
5)	$\text{H}\cdot + \text{O}_2 \rightarrow \cdot\text{OH} + \text{O}$	Разветвление цепи
6)	$\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \cdot\text{OH} + \text{H}\cdot$	
7)	$\text{H}\cdot + \text{стенка} \rightarrow$	Обрыв цепи на стенке
8)	$\cdot\text{OH} + \text{стенка} \rightarrow$	
9)	$\text{H}\cdot + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HO}_2\cdot + \text{M}$	Обрыв в объеме
10)	$\text{HO}_2\cdot + \text{стенка} \rightarrow$	$1/2 \text{H}_2\text{O}_2 + 1/2 \text{O}_2$
11)		$1/2 \text{H}_2\text{O} + 3/4 \text{O}_2$
12)	$\text{HO}_2\cdot + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}\cdot$	Продолжение цепи с помощью малоактивного радикала
13)	$\text{HO}_2\cdot + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \cdot\text{OH}$	

Старт «Челленджера» 28.01.1986

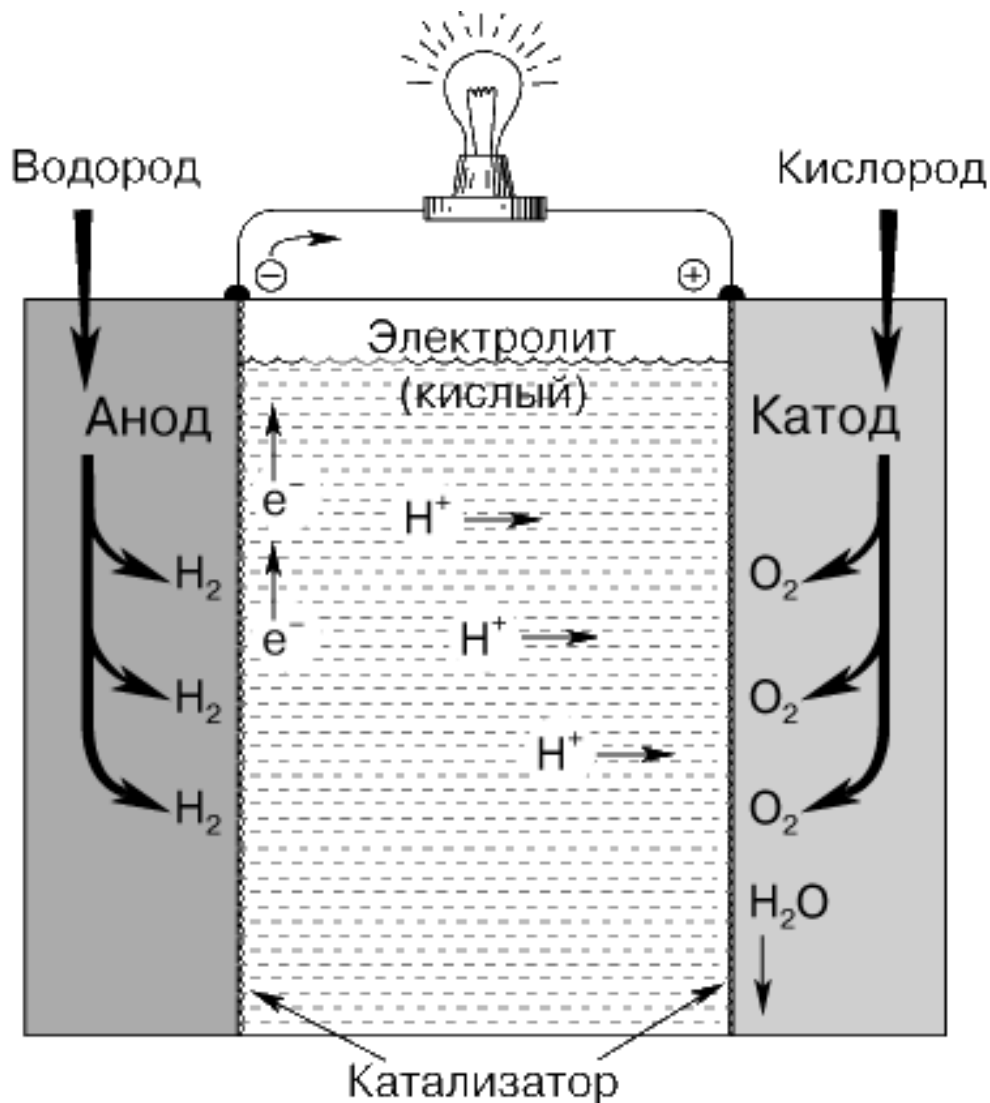


Старт «Челленджера» 28.01.1986

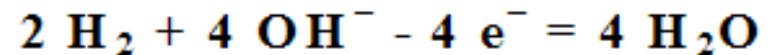


Челленджер, взорвавший небо
<http://lenafromrus.narod.ru/DIS/text/nov.html>

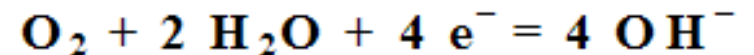
Топливный элемент



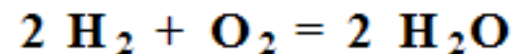
**электроокисление
водорода (анод):**



**электровосстановление
кислорода (катод):**

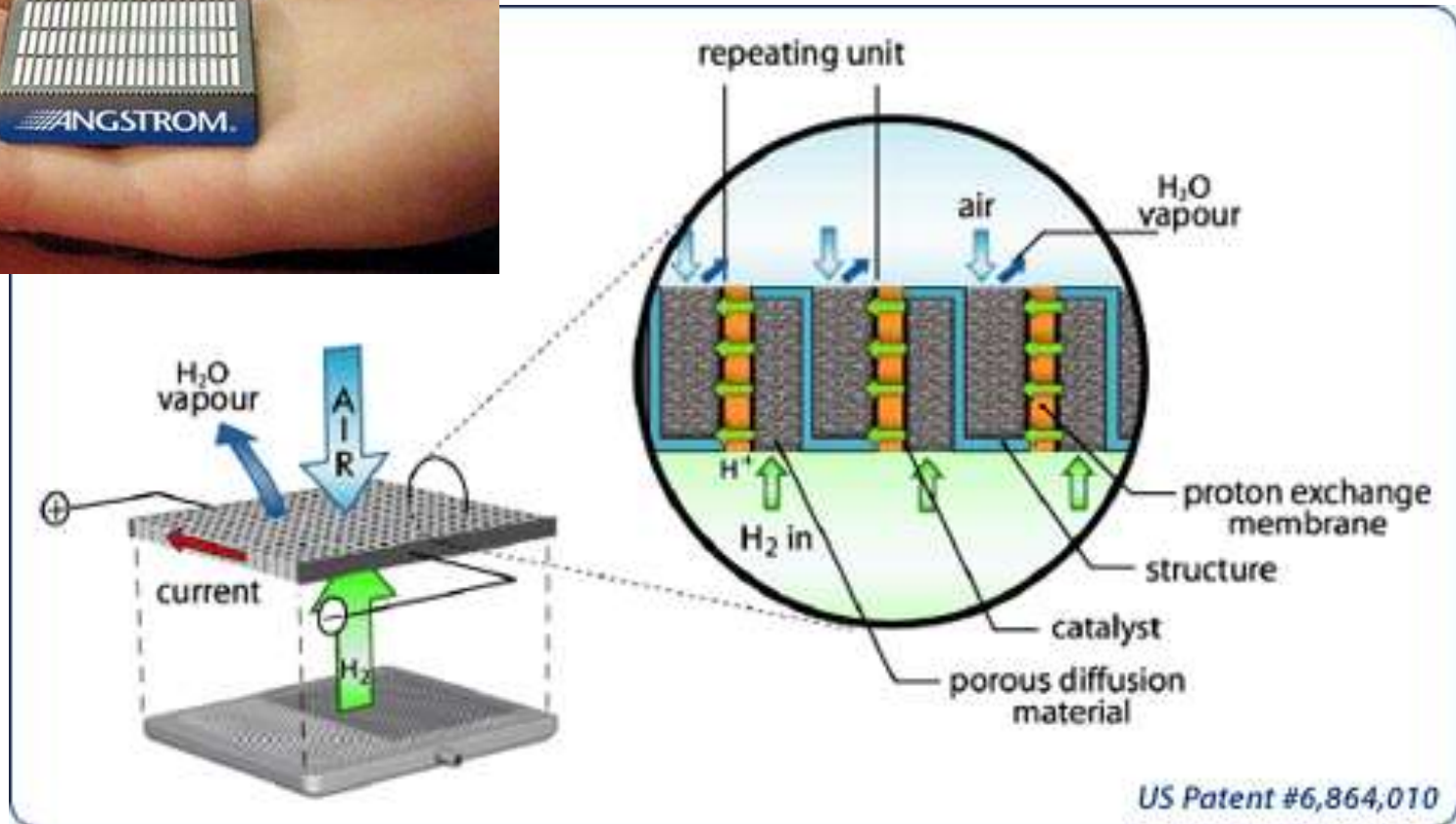


Суммарно:



Водородный телефон

http://cifrovik.ru/publish/open_article/11048/



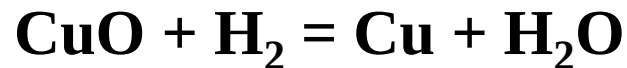


Электролизер с водородо-кислородной горелкой H2-gor-t2V1 (01:08)



Применение водорода в химических процессах

Восстановление оксидов
до металлов:



Гидрирование растительных жиров:



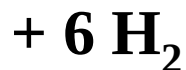
|



|



Жидкий жир



|



|



Твердый жир



Гидриды

LiH , NaH – твердые ионные

$\text{Li}[\text{AlH}_4]$ - смешанный

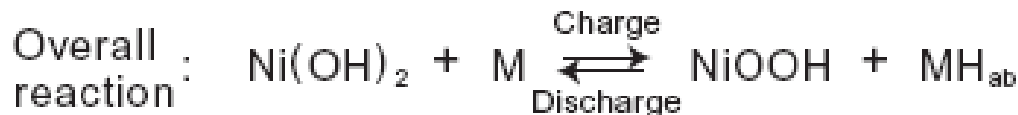
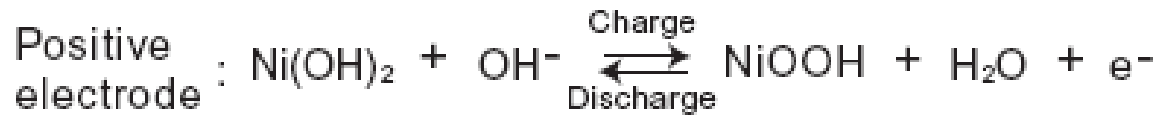
$(\text{MgH}_2)_x$ – полимер

? - жидкий

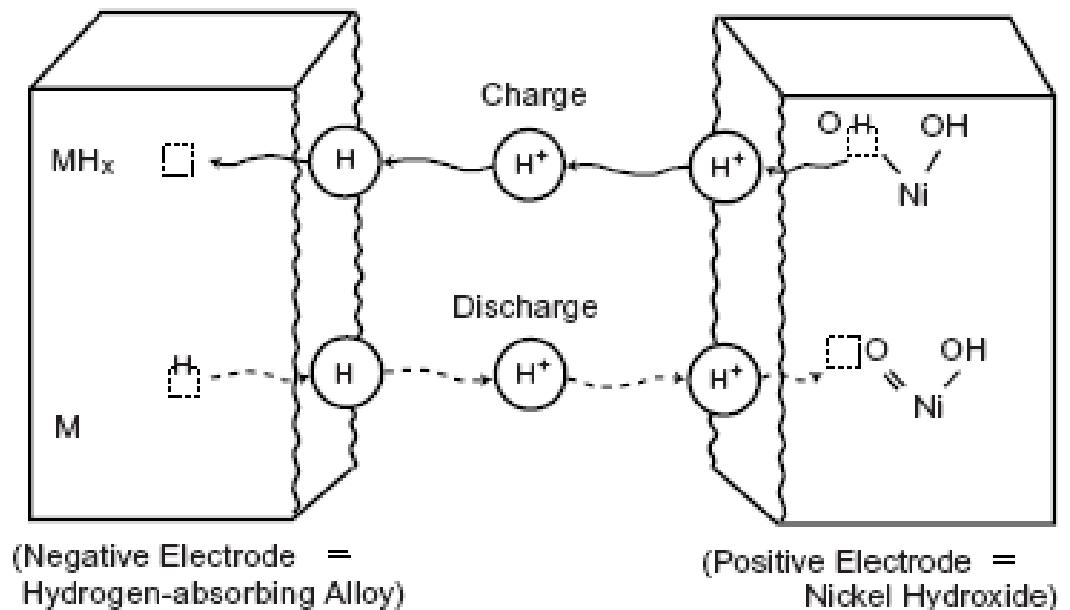
CH_4 – газообразный

$\text{LaH}_{2,9}$ - нестехиометрический

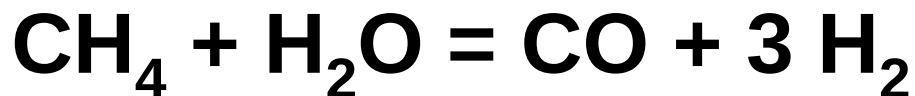
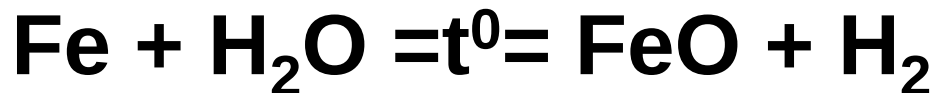
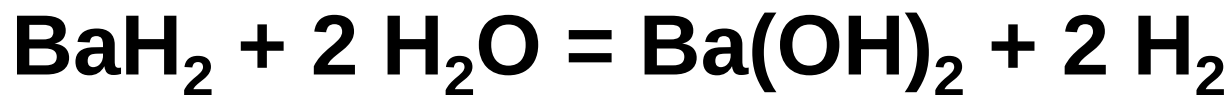
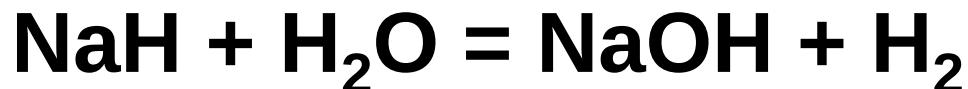
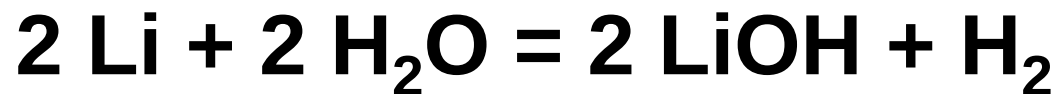
Никель-гидридные аккумуляторы



(M : hydrogen-absorbing alloy; H_{ab} : absorbed hydrogen)



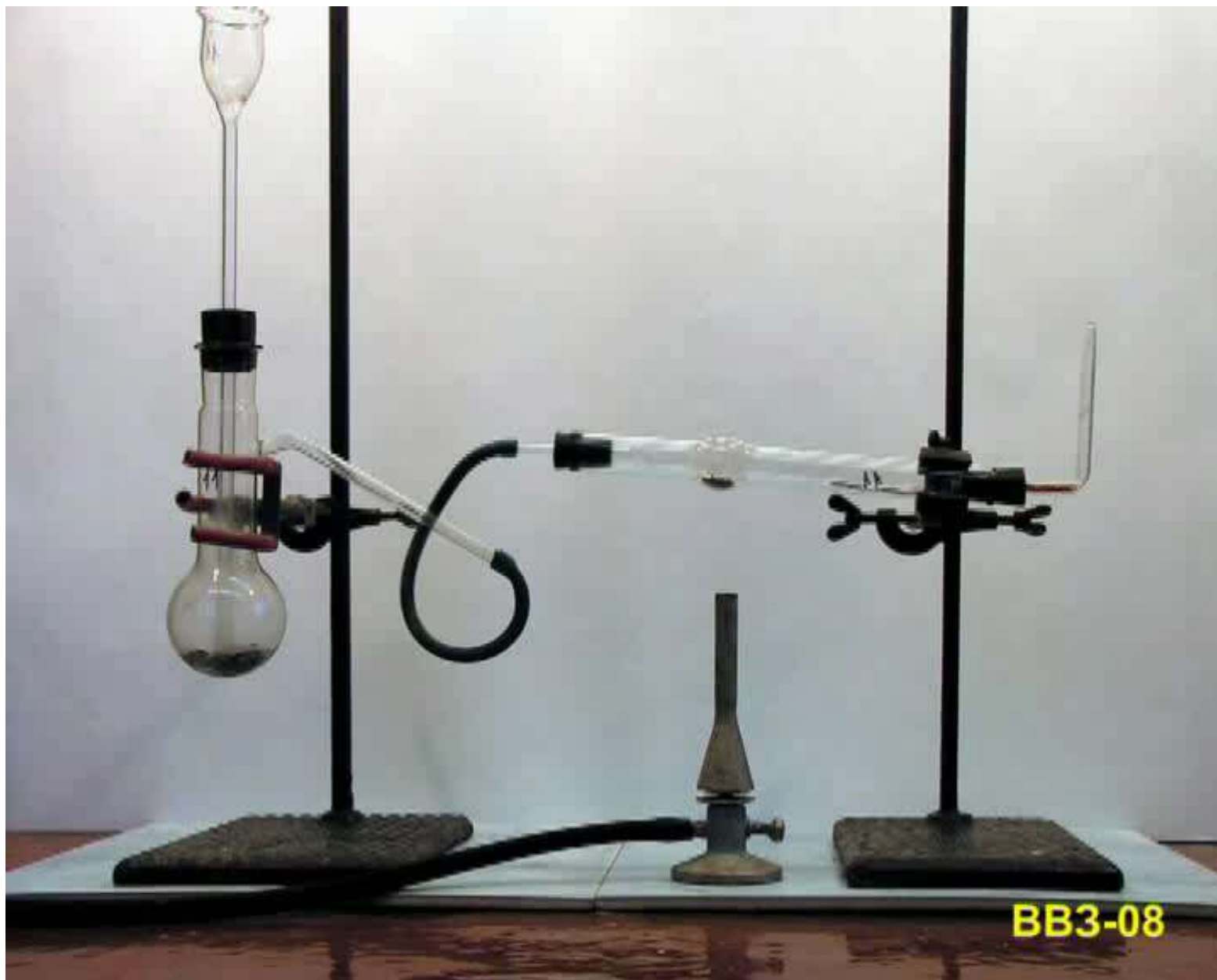
Некоторые реакции



Ty-155



Восстановление оксида меди (провол) водородом H_2-CuO V1 02:00



Получение водорода в лаборатории



Zn-H-Cu08V1 1:00

Изменение размеров атомов при ионизации

H $37 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ $\rightarrow$ **H⁺** $0,0012 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Li $133 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ $\rightarrow$ **Li⁺** $76 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Na $155 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ $\rightarrow$ **Na⁺** $102 \cdot 10^{-12} \text{ m}$



Для чего гидрируют растительные жиры

RUS Мороженое с растительным жиром ванильное в вафельном стаканчике «Юбилейное» «Повседневное». Массовая доля жира в молокосодержащей части продукта 8%, в том числе молочного жира 4%.

Состав: вода питьевая, сахар-песок, молоко цельное сухое, заменитель молочного жира, сыворотка молочная сухая, масло сливочное, сухой глюкозный сироп, стабилизатор-эмульгатор (моно- и диглицериды жирных кислот, гуаровая камедь, камедь тары, карбоксиметилцеллюлоза, каррагинан), ароматизаторы идентичные натуральным ванилин и сливки, вафельный стакан (мука пшеничная, вода питьевая, масло растительное, загуститель крахмал, сахар-песок, разрыхлитель сода пищевая, соль поваренная пищевая, пищевая добавка - лецитин). Пищевая ценность в 100 г продукта: содержание белков - 4,5 г; жиров - 7,5 г; углеводов - 24,2 г (в том числе сахарозы 12,8 г). Энергетическая ценность / калорийность на 100 г продукта - 760 кДж / 180 ккал. Срок годности и условия хранения (смотри индекс): R. При t не выше минус 18°C не более 18 месяцев. F. При t не выше минус 18°C годен до: смотри на упаковке. Дата изготовления: см. на упаковке. Изготовитель (смотри индекс после даты изготовления): 1 - ООО «Лагуна Койл», EU-Code: 8PM-50/3, Россия, 140060, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Октябрьский, ул. Старый Двор, 2. Тел. +7 (495) 229-10-08. Отдел розничных продаж +7 (495) 780-02-75, 780-02-85, 780-02-95. Отдел оптовых продаж +7 (495) 229-10-04. 2 - ООО «Алтайхолод», Россия, 656011, г. Барнаул, ул. Бехтерева, 2. Тел. +7 (3852) 77-99-26.

KAZ Өсімдік майы қосылған «Юбилейное» «Повседневное» вафельдік стакандағы ванильдік балмұздағы. Өнімнің құрамында сүті бар бөлігіндегі майдың үлесі 8%, соның ішінде сары майдың 4%. Құрамы: ауыз суы, құмшекер, құрғақ майы ажыратылмаған сүт, сүт майының ауыстырғышы, сүт сарысуы құрап қалған, сары май, глюкоза шырыны, тұрақтандырғыш-эмульгатор (моно диглицеридтер E471, гуар камеді E412, тары камеді E417, карбоксиметилцеллюлоза E466, каррагинан E407), ванилин, кілегей табиғиға жақын иістендіргіші, вафель стаканы (бидай ұны, ауыз суы, өсімдік майы, крахмал, құмшекер, сода азық-түлік, тұз азық-түлік, азық-түлік қосымшасы - лецитин). 100 г өнімнің азықтық құндылығы: ақуыз - 4,5 г; майлар - 7,5 г; көміртегі - 24,2 г (соның ішінде сахароза 12,8 г). 100 г өнімнің энергетикалық құндылығы / қуаттылық - 760 кДж / 180 ккал. Таза салмағы 70 г. Сақтау мерзімі мен шарттары (индексті қара): R. -18°C аспайтын t 18 ай. F. -18°C аспайтын t сақтау мерзімін орамадан қараңыз. Шығарылған күнін орамадан қараңыз. Өндіруші (өндірілген күнінен кейінгі индексті қара): 1 - «Лагуна Койл» ЖШҚ, EU-Code: 8PM-50/3, Ресей, 140060, Маскеу обл., Люберецк ауданы, Октябрьский ауылы, Старый двор көш., 2. Тел.: +7 (495) 229-10-08. Отдел розничных продаж +7 (495) 780-02-75, 780-02-85, 780-02-95. Отдел оптовых продаж +7 (495) 229-10-04. 2 - ООО «Алтайхолод», Россия, 656011, Барнаул қ., Бехтерев көш., 2. Тел.: +7 (3852) 77-99-26. Импортёр: «Прима-Мороженое» ООО, Россия, 140060, Маскеу обл., Люберецк ауданы, Октябрьский ауылы, Старый двор көш., 2. Тел.: +7 (495) 229-10-08. Отдел розничных продаж +7 (495) 780-02-75, 780-02-85, 780-02-95. Отдел оптовых продаж +7 (495) 229-10-04.

а. Тел. +7 (727) 294-17-16.

GR Παγωτό βανίλιας σε ποτιράκι βαφλας (Πορσεδένιο) προϊόντος, συμπεριλαμβανομένου του γάλακτος σε λιπαρά (μονο-και δι-γλυκερίδια λιπαρών οξέων, κόμμι γκουάρ, κτύπημα γάλακτος, ποτήρια βάφλας (αλεύρι σίτου, νερό, φούτιλ λιπαρά, αλάτι, ζάχαρη, σόδα, αλάτι, λεκιθίνη προσθετα τροφίμων). Ορεπτική αξία ανά 100 γρ.: πρωτεΐνη - 4,5 γρ., λιπαρά - 7,5 γρ., υδατάνθρακες - 24,2 γρ. (συμπεριλαμβανομένης σακχαρώδους 12,8 γρ.). Ενέργεια: 760 kJ / 180 kcal. Ημερομηνία λήξης: 18 μήνες. Αποθηκεύστε σε ψυγείο (-18°C). Παρασκευαστής: «Лагуна Койл» ЖШҚ, Ресей, 140060, Маскеу обл., Люберецк ауданы, Октябрьский ауылы, Старый двор көш., 2. Тел.: +7 (495) 229-10-08. Отдел розничных продаж +7 (495) 780-02-75, 780-02-85, 780-02-95. Отдел оптовых продаж +7 (495) 229-10-04. 2 - ООО «Алтайхолод», Россия, 656011, Барнаул қ., Бехтерев көш., 2. Тел.: +7 (3852) 77-99-26. Импортёр: «Прима-Мороженое» ООО, Россия, 140060, Маскеу обл., Люберецк ауданы, Октябрьский ауылы, Старый двор көш., 2. Тел.: +7 (495) 229-10-08. Отдел розничных продаж +7 (495) 780-02-75, 780-02-85, 780-02-95. Отдел оптовых продаж +7 (495) 229-10-04.

The *AMERICAN COLLEGE OF OBSTETRICIANS AND GYNECOLOGISTS*

Главная цель компании «Талосто» – обеспечение продукции, что соответствует и подтверждено ISO 9001-2008.

*В молочкосодержащей части



мороженое сливочное крем-брюле с варёным сгущённым молоком в сахарной тру
 общего назначения, вода питьевая очищенная, сахар, растительное масло, эмульгатор – лецитин соевый, яичный меланж сухой,
 сливочное, шоколадная глазурь (масло кокосовое, сахар, какао-порошок, эмульгатор – лецитин соевый, ароматизатор идентичный н
 сгущенное с сахаром, декстроза, стабилизатор-эмульгатор (моно- и диглицериды жирных кислот, полисорбат 80, карбоксиметил
 сахарный колер. Изготовлено с использованием сухого обезжиренного молока. Пищевая и энергетическая ценность в 100 г проду

[illegible]

Историческое натуральное высококачественное сырье.
Применение современного оборудования ведущих производителей.
Соблюдение высочайшей культуры производства на всех этапах – от производства до доставки.
Выпуск натуральных продуктов по доступной цене на основе традиционных рецептов.

Мороженое БЭЗ растительных жиров!*



Влияние ядерного спина на свойства водорода

Поскольку протоны имеют спин $1/2$,
существуют три варианта молекул водорода:
ортоводород $o\text{-H}_2$ с параллельными ядерными спинами,
параводород $p\text{-H}_2$ с антипараллельными спинами и
нормальный $n\text{-H}_2$ – смесь 75% орто-водорода и 25% пара-водорода.
При превращении $o\text{-H}_2 \rightarrow p\text{-H}_2$ выделяется 1418 Дж/моль.

Водород	$T_{\text{крит.}}, \text{ К}$	$T_{\text{кип.}}, \text{ К}$	$T_{\text{плав.}}, \text{ К}$	Плотн., г/л (20 К)
$n\text{-H}_2$	33,244	20,39	13,967	71,35
$p\text{-H}_2$	32,994	20,26	13,813	71,08
$o\text{-H}_2$	33,24	20,45	14,05	