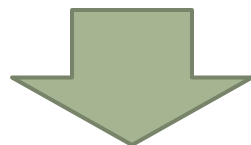


**«Зелена» хімія** – відкриття, розробка та використання хімічних продуктів і процесів, що зменшують або виключають використання та утворення шкідливих речовин.

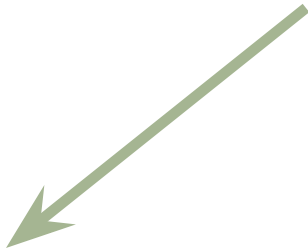
# Основні підходи “зеленої хімії”

1. Враховує **всі етапи “життєвого циклу”** хімічного продукту
2. Намагається створити такий **хімічний продукт/процес**, який є **повністю безпечним**
3. Працює як **система принципів**

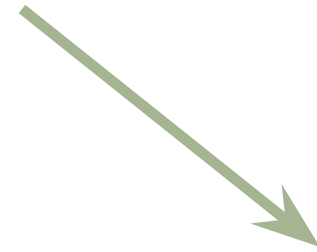


Забезпечення сталого розвитку

# Основні напрями



Переробка, утилізація,  
знешкодження



Виключення  
використання/утворення  
небезпечних продуктів

# 12 принципів «зеленої» хімії

*Paul Anastas*



*John C. Warner*



1. Упередження.
2. Економія атомів.
3. Зниження шкідливості процесів та продуктів синтезу.
4. Конструювання «зелених» матеріалів.
5. Використання менш шкідливих допоміжних реагентів.
6. Енергозбереження.
7. Використання відновлюваної сировини.

# 12 принципів «зеленої» хімії

8. Зменшення кількості проміжних стадій.
9. Використання каталітичних процесів.
10. Дизайн продуктів, що біорозкладаються.
11. Забезпечення аналітичного контролю в реальному часі.
12. Попередження аварій.

- P – Prevent wastes**
- R – Renewable materials**
- O – Omit derivatisation steps**
- D – Degradable chemical products**
- U – Use of safe synthetic methods
- C – Catalytic reagents
- T – Temperature, Pressure ambient**
- I – In-Process monitoring**
- V – Very few auxiliary substrates**
- E – E-factor, maximise feed in product**
- L – Low toxicity of chemical products**
- Y – Yes, it is safe**

S. L. Y. Tang, R. L. Smith and M. Poliakoff, *Green Chem.*, **2005**, **7,761**.

# Основні поняття

- **Небезпека**
- **Ризик** =  $f(\text{небезпека} \times \text{час дії})$

- **Оцінка ефективності синтезу:**

Економія атомів (використання атомів) **АЕ**

**E(nvironmental)**-фактор – *кг відходів на 1 кг продукту*

**RME** -фактор

**CE** -фактор

**MI** -фактор



**Barry Trost**

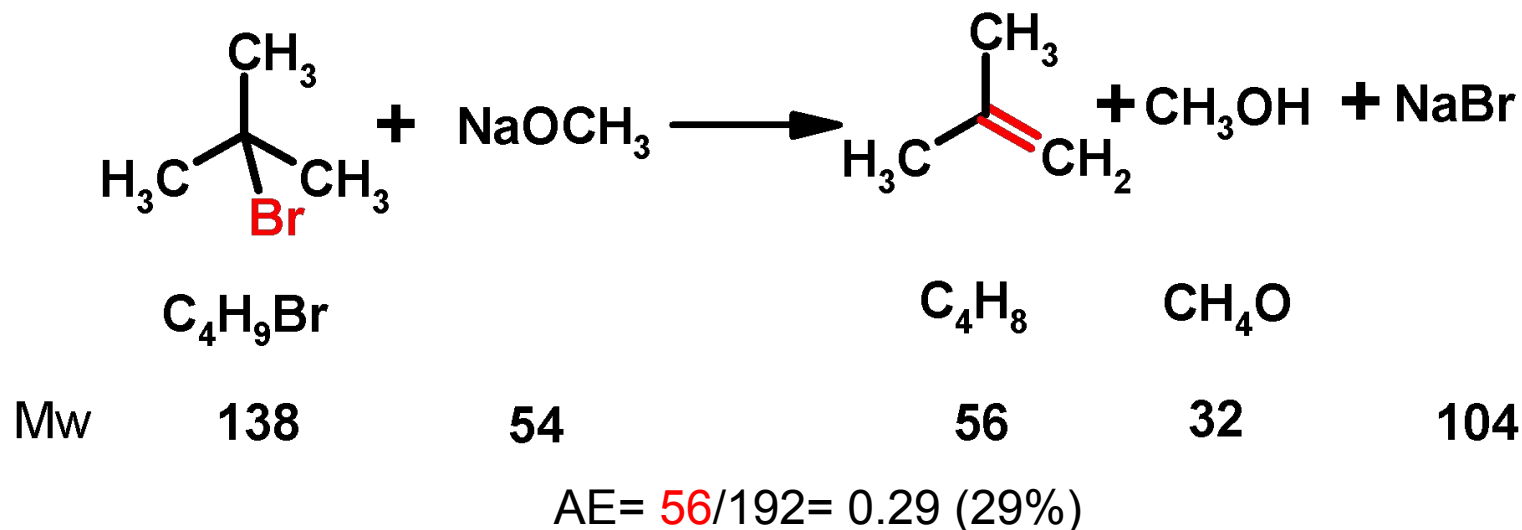


**R. A. Sheldon**

# “Використання” атомів, E-фактор

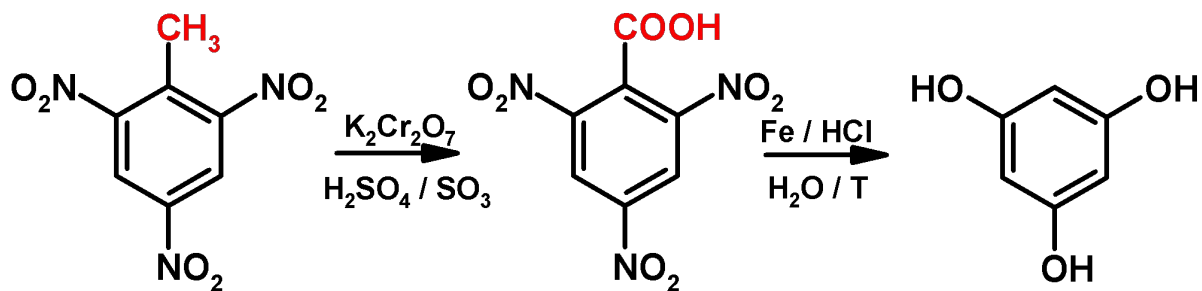
“Використання атомів” (AE) = *Відносна мол. маса бажаного продукту* / *сума відн. мол. мас усіх утворених продуктів*

E(nvironmental)-фактор – *кг відходів на 1 кг продукту*

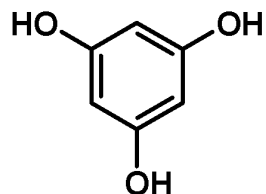




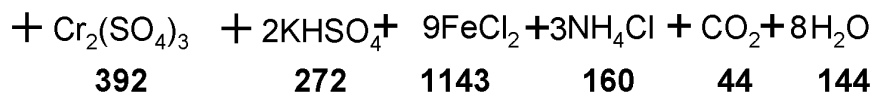
# “Використання” атомів, E-фактор



$$AE = 126/2281 = 5\%$$



Продукт  
Mw= 126



E-фактор (теор.)= 2282/126= 17%

E-фактор (практ.)= 40%

# Е-фактор: хімічна промисловість

Промисловий сегмент	Обсяг (тон на рік)*	Е-фактор (кг відходів на кг продукції)
Основна хімія	$10^4$ - $10^8$	<1-5
Тонкий хімічний синтез	$10^2$ - $10^4$	5-50
Фармацевтична галузь	$10$ - $10^3$	25-100
<i>* Річне світове виробництво або окремого сектору</i>		

•Roger A. Sheldon "E factors, green chemistry and catalysis: an odyssey / Chem. Commun., 2008, 3352-3365.

# EQ-фактор

EQ-фактор – різні відходи мають різний рівень небезпеки (Q)

$$EQ = E(\text{кг відходів на 1 кг продукта}) \times Q$$

**Q = 1** для **NaCl**

**Q = 1000 (?)** для **солей Cr**

# Джерела відходів



Багатостадійність  
синтезу

Стехіометричні  
реагенти –  
кислоти і  
основи

Втрати  
органічних  
розчинників

Розв'язок проблеми



Каталітичні реакції,  
альтернативні  
реакційні середовища

Окиснення-  
відновлення

Реакції без  
розчинників

# Безвідходне виробництво

«Безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду.»

«Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использования отходов», 1979 г.

«Безотходная технология – это такой способ производства продукции (процесс, предприятие, территориально-производственный комплекс), при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле сырьевые ресурсы-производство-потребление-вторичные сырьевые ресурсы таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования»

ЕЭК ООН, 1984 г.

