

“金牌主讲人”课程培训

# 物理化学C

1<sup>st</sup> 热力学定律的应用

2018. 12. 15

杨家益

Class: 2015级生技1班

Lab: 周宇教授实验室

# 自我介绍?



加权平均分: 87.464	绩点: 3.637	学年	2015-2016 ▼	学期	上 ▼	加权平均分: 85.378	绩点: 3.378
		学年	2016-2017 ▼	学期	上 ▼	加权平均分: 90.081	绩点: 3.952

物理化学C	公共选修	3.0	胡晓宏	公共化学教学	普通	2016	上	90.0
物理化学实验B	公共选修	1.0	邓立志	公共化学教学	普通	2016	上	90.0

# 正经的自我介绍

- 杨家益
- 班级：2015生技1班
- 所在实验室：ZhouLab@CLS6109
- 曾所属学生会部门：生活权益部
- 曾任：班级团支书、本科生党支部副书记  
现任：2015级毕委会主任
- 爱好：打游戏，看动画片，写bug
- QQ:935242902 （秒回警告） WeChat:15071386862

硬广. jpg

# 周宇 (教授、研究员)

<http://www.bio.whu.edu.cn/index.php/View/1981>

邮件: [yu.zhou@whu.edu.cn](mailto:yu.zhou@whu.edu.cn)

学科专业: 生物信息学、功能基因组学

## 学习经历:

1999-09 - 2003-06	武汉大学	学士	生物学基地班
2003-09 - 2004-09	武汉大学	硕士	生化与分子生物学
2004-10 - 2005-07	法国巴黎十一大学	硕士	生物信息与生物统计学
2005-09 - 2008-12	武汉大学	博士	生化与分子生物学
2005-09 - 2008-12	法国巴黎十一大学	博士	计算机 (与武汉大学联合培养)



## 主要工作经历与任职情况:

2009-07 - 2015-05	美国加州大学圣地亚哥分校	博士后
2015-05 - 至今	武汉大学生命科学学院	教授
2015-08 - 至今	武汉大学高等研究院	兼职研究员

## 研究方向: 生物信息学及RNA系统生物学

- RNA加工和调控
- miRNA生成及其功能
- 转录及mRNA加工
- 基因表达的遗传级表观遗传调控
- lncRNA的结构和功能
- 功能基因组学
- 生物信息学

## 代表性论文:

- Li Jiang, *et al.*, (2017) ***Nat Str&Mol***  
Yu Zhou, *et al.*, (2016) ***Mol Cell***  
Yu Zhou, *et al.*, (2014) ***Methods Mol Biol***

# 研究领域：生物信息学及RNA系统生物学

---

- 1) 开发高通量测序数据分析和可视化工具，促进大数据转换成生物学发现。
- 2) RNA核滞留的功能元件及分子机制。
- 3) RNA结合蛋白对非编码RNA结构与功能的调控。
- 4) miRNA的生成加工与细胞核亚结构的关系。
- 5) RNA转录终止调控机制及其异常在相关疾病中的作用。

# 陈亮 (研究员)

<http://www.bio.whu.edu.cn/index.php/View/2493>

电话: 15927556656 邮件: liang\_chen@whu.edu.cn 微信: liangchen912832

学科专业: 分子生物学、功能基因组学

## 学习经历:

1999 - 2003	浙江大学生命科学学院	学士	生物技术
2003 - 2006	浙江大学生命科学学院	硕士	微生物
2006 - 2012	美国辛辛那提大学医学院	博士	环境遗传与分子毒理

## 主要工作经历与任职情况:

2012 - 2018	美国加州大学圣地亚哥分校医学院	博士后
2018 - 至今	武汉大学生命科学学院	研究员



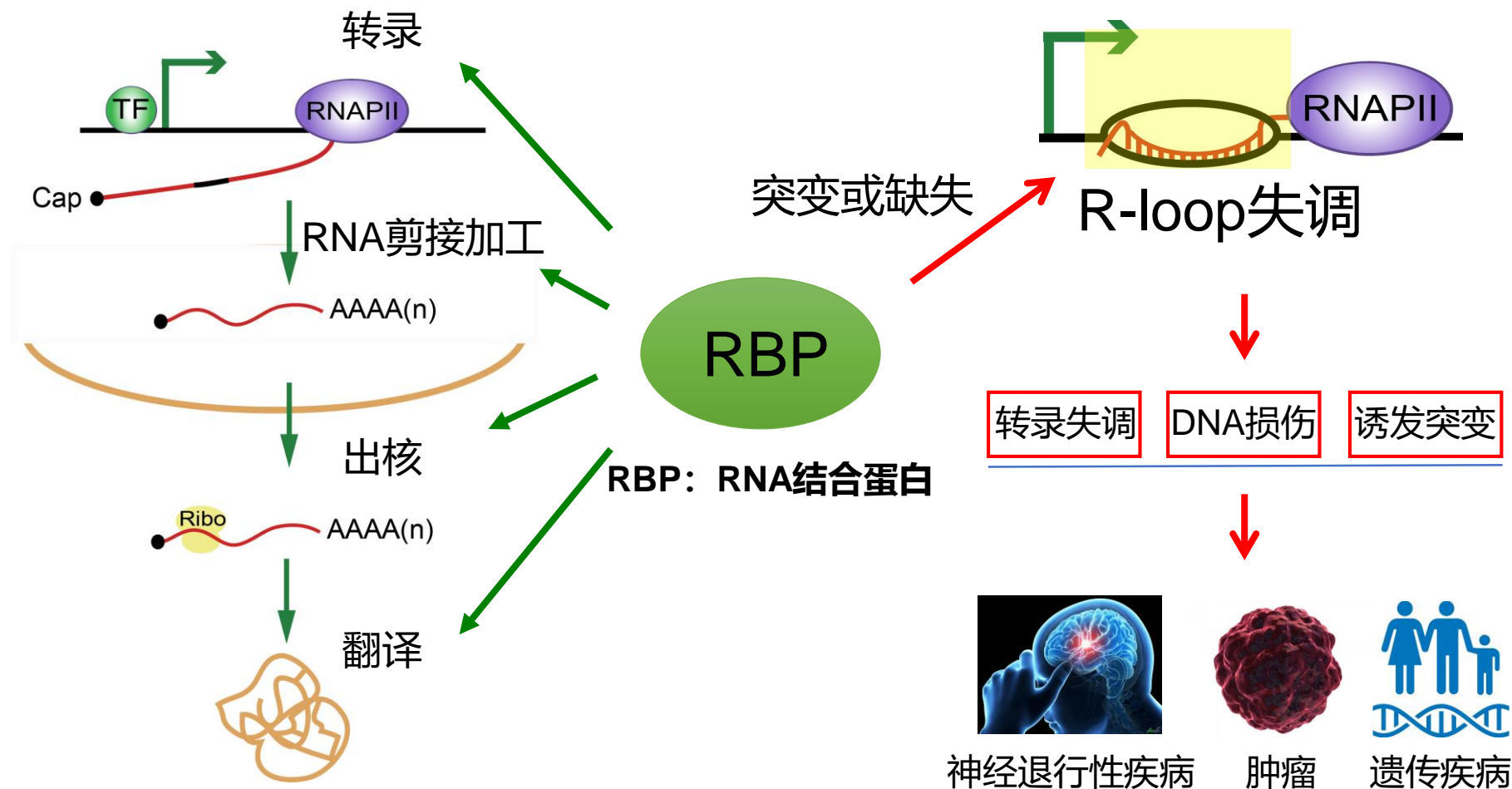
## 研究方向: 核酸结构与转录调控及疾病机理

- 核酸结构与转录、复制调控
- 高通量测序技术开发
- 转录、复制的互作在发育与疾病发展过程中的作用

## 代表性论文:

Chen, *et al.*, (2018) *Mol Cell*  
Chen, *et al.*, (2017) *Mol Cell*  
Li, *et al.*, (2017) *Nat Biotechnol*  
Wei, *et al.*, (2016) *Mol Cell*  
Chen, *et al.*, (2016) *Protein Cell*  
Wang, *et al.*, (2015) *Nature*

# 研究领域：RNA生物学与RNA结合蛋白功能研究

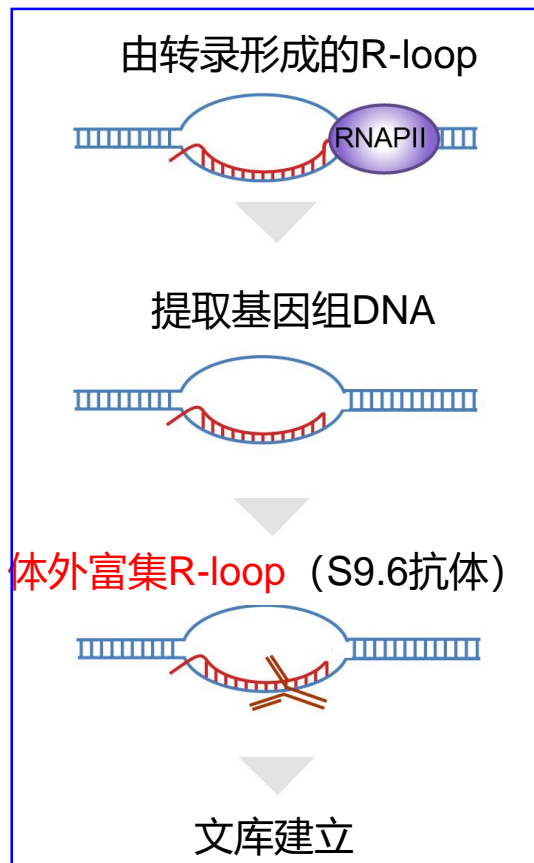


科学问题：RBP如何调控基因转录

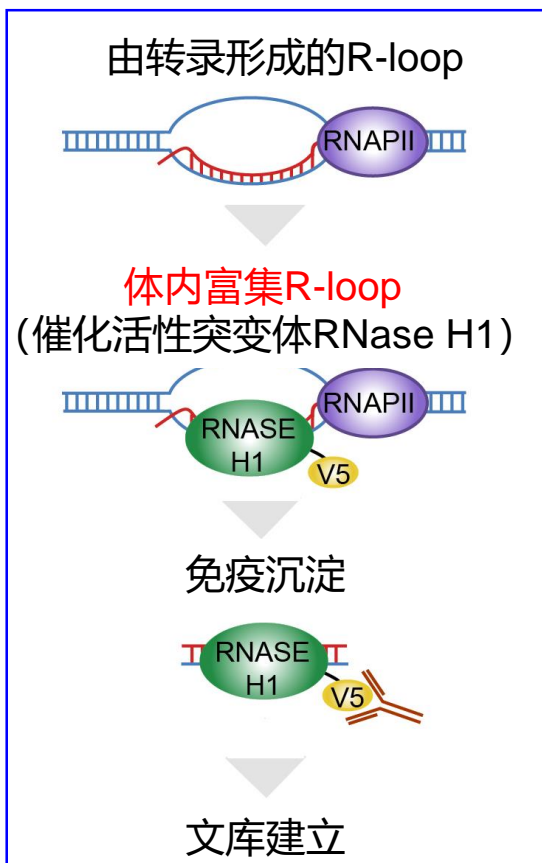


# 成果一：开发全基因组检测R-loop的二代测序技术

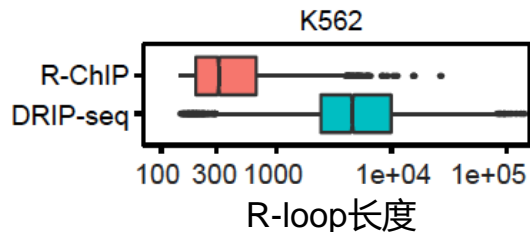
DRIP-seq  
(传统)



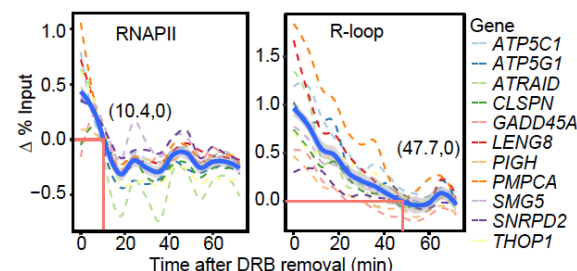
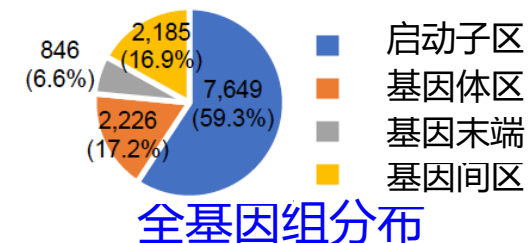
R-ChIP  
(新开发)



R-ChIP  
新发现



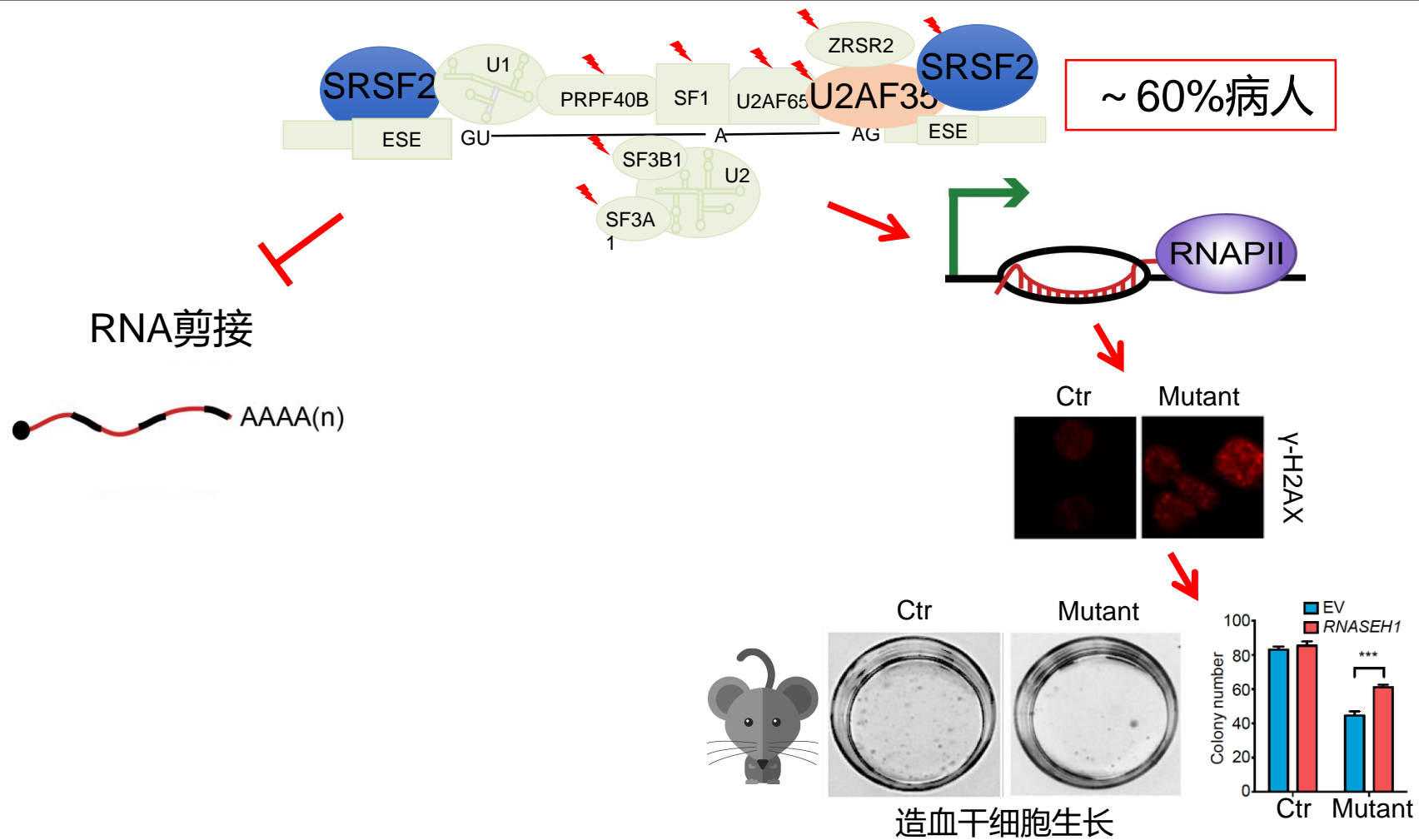
区分度高



R-loop与转录动态相关

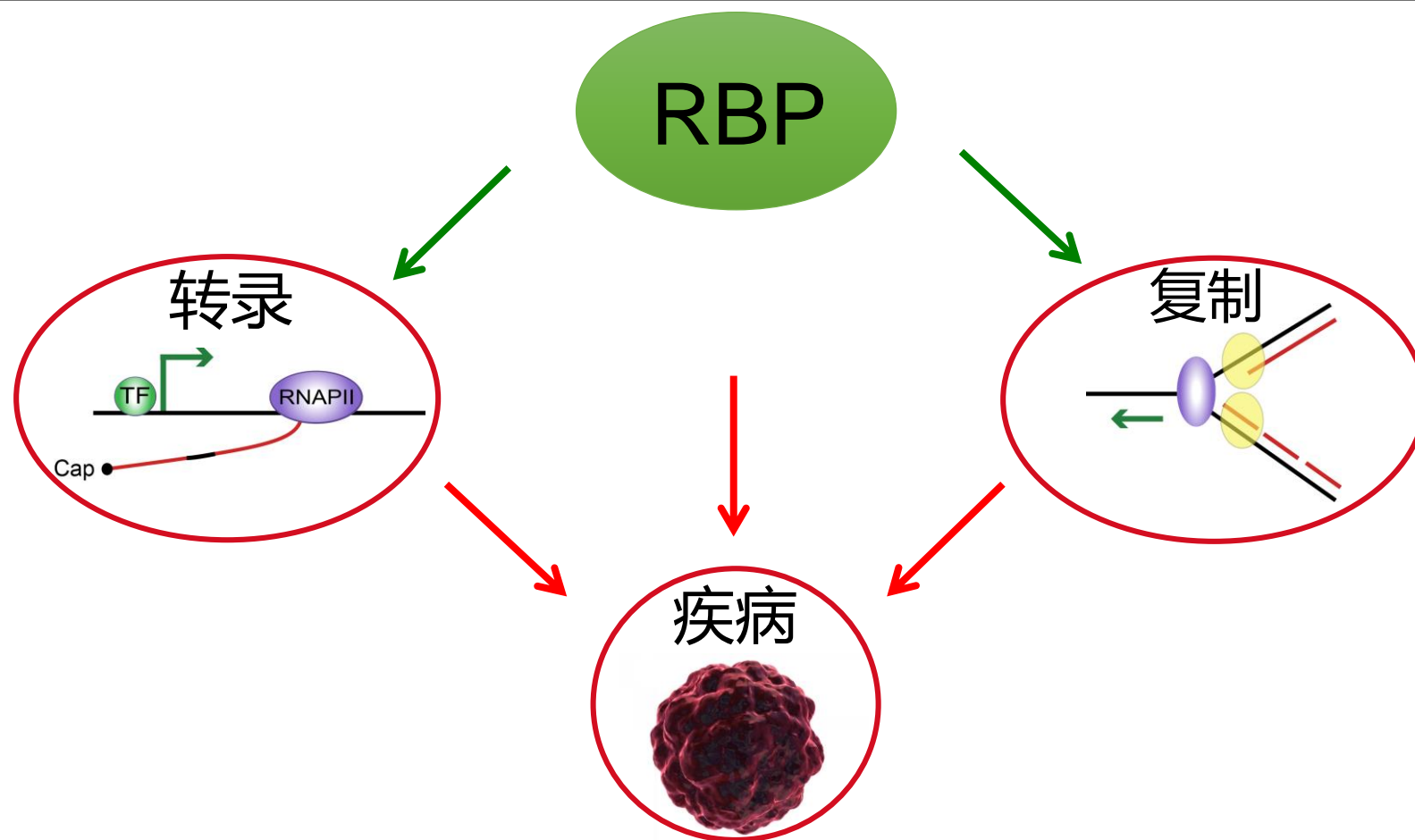
新技术：信号更真实、分辨率高、特异性好

# 成果二：揭示RBP突变促发白血病的新机制



白血病新机制：由R-loop引发、不依赖于RNA剪接、不同RBP突变共有

# 未来研究方向和基础



核心方向：1) RBP如何协调基因转录与DNA复制过程  
2) 新测序技术开发

# 大二上复习攻略

除公选 去除公必 去除专选 去除专必 已选学分: 31.0 加权平均分: 90.081 绩点: 3.952

课程名称	课程类型	学分	教师	授课学院	学习类型	学年	学期	成绩	操作
创业运营模拟课程	公共选修	2.0	徐晓辉	经济与管理学院	普通	2016	上	90.0	<input type="button" value="无"/>
生物化学	专业必修	5.0	程汉华	生命科学学院	普通	2016	上	90.0	<input type="button" value="无"/>
微生物学	专业必修	3.0	陈向东	生命科学学院	普通	2016	上	91.0	<input type="button" value="无"/>
微生物学实验	专业必修	1.5	李文化	生命科学学院	普通	2016	上	90.0	<input type="button" value="无"/>
生物化学实验	专业必修	2.0	赵晓璐	生命科学学院	普通	2016	上	92.0	<input type="button" value="无"/>
网球 (初级)	公共必修	1.0	吴立新	体育部	普通	2016	上	93.0	<input type="button" value="无"/>
计算机信息检索与利用(理)1	公共选修	2.0	方小利	图书馆	普通	2016	上	94.0	<input type="button" value="无"/>
大学英语4	公共必修	3.0	杨华	大学英语部	普通	2016	上	85.0	<input type="button" value="无"/>
大学物理实验B	公共选修	1.5	林伟华	公共物理教学	普通	2016	上	91.0	<input type="button" value="无"/>
毛泽东思想和中国特色社会主义理论体系概论	公共必修	4.0	郎廷建	公共政治教学	普通	2016	上	90.0	<input type="button" value="无"/>
物理化学C	公共选修	3.0	胡晓宏	公共化学教学	普通	2016	上	90.0	<input type="button" value="无"/>
物理化学实验B	公共选修	1.0	邓立志	公共化学教学	普通	2016	上	90.0	<input type="button" value="无"/>
有机化学实验B	公共选修	2.0	熊英	公共化学教学	普通	2016	上	89.0	<input type="button" value="无"/>

# 一个很重要的东西：学习部网盘

网盘新账号：

**xxb2016xxb@126.com**

网盘新密码：

**xxb2016**

PS：程序猿可能喜欢用的百度云：BaiduPCS

# 生化

- 画循环图
- 书过一遍再看PPT
- 助教对你们很好的
- 网盘里有一点总结资料

[返回上一级](#) | [全部文件](#) > [大二上](#) > [生化](#) > [中文班](#)

☐ 文件名

☐  课件视频

☐  生化

☐  试卷及总结

☐  课件

☐  生化学习小组.zip

# 微生

- 题库啊
- 助教对你们依然很好
- 向东男神对你们也很好
- 好好准备展板



# 物化

- 这玩意比较迷
- 多刷几遍书，虽然书写的不是很好
- 都是套路，找一些代表性题目弄懂（等会我讲一题，记得记笔记）
- 课后题选作业题刷，互相对答案
- 网盘里有几张卷子

[返回上一级](#) | [全部文件](#) > [大二上](#) > [物化](#) > [试卷](#)

☐ 文件名

☐  物化习题课.ppt

☐  物理化学简答题大全.doc

☐  期中考2.jpg

☐  2010-2011学年度第一学期期末考试.doc

☐  期中考1.jpg

☐  2014-2015物化期末试卷（by黄运星）.docx



# 其他的

- 大英不说了你们都懂
- 毛概不说了你们也懂
- 实验课：
  - 大物是要考试的，就做一次实验当场交报告
  - 有机期末有个笔试，注意总结每次的装置图
  - 物化实验做完就没了
  - 微生有次画平板分数占的比较多
  - 生化有次考试实验，不讲直接做
  - 微生生化有口试，抽题回答，15级整理过题库

# 大学生涯规划

- 大一上：适应大学学习与生活。
- 大一下：通识知识巩固。
- 大二上：专业基础知识学习与技能训练。
- 大二下：专业主体知识学习与毕业方向选择。
  - 推荐大二下暑假找实验室，此前做好调查和了解的功课
  - 准备本校保研尽量可以一次挑对实验室（科研活动连贯性）
- 大三：专业知识拓展与实验训练，确定毕业后去向。
  - 保研基本确定（贯通式大三下开学开始，普通保研大四上开学具体确定）
- 大四：毕业设计，出路准备（改行、就业）。

# 下学期你们要干啥

- 大二下学期的课：
  - 3专业+3实验+英语（比较闲鱼）
  - 划重点：全是专必
  - 所以可以赶紧把公选刷完，线代概统什么有兴趣的都拿去抵公选
- 其他规划：
  - 生涯规划（具体想学啥）
  - 出国、保研、其他？
  - 学好英语，可以考虑考计算机二级（三级）和普通发

# 物理化学

- 热力学——反应发生的可能性
- 动力学——反应发生的可行性
- 为什么要学习物理化学？
  - 生物化学：代谢反应为何发生？如何发生？
  - 结构生物学：蛋白质空间构象的稳定与变化。
  - 基因组学与生物信息学：核酸结构解析，引物设计等。

# 热力学过程特征量的求算

过 程	W	Q	$\Delta U$	$\Delta H$
自由膨胀 $p_{\text{外}}=0$	$W=-\int p_{\text{外}}dV=0$	0	0	0
等容过程 $dV=0$	0	$\int C_V dT=C_V \Delta T$	$C_V \Delta T=Q_V$	$C_p \Delta T$
等压过程 $dp=0$	$-p\Delta V$ $p_{\text{外}}=p$	$C_p \Delta T$	$C_V \Delta T$	$C_p \Delta T$
等温过程 可逆	$-nRT \ln V_2/V_1$	$Q=W$	0	0
恒外压	$=-nRT \ln p_2/p_1$ $-p_{\text{外}}(V_2-V_1)$	$Q=W$	0	0
绝热过程 可逆	$C_V(T_2-T_1)$ $=(p_2V_2-p_1V_1)(\gamma-1)$	0	$C_V \Delta T$	$C_p \Delta T$
不可逆	同上	0	$C_V \Delta T$	$C_p \Delta T$
相变 $dp=0, dT=0$	$-p(V_g-V_l)=-nRT$	$Q=nL$	$nL-nRT$	$nL$
化学过程 只作膨胀功 ( $dp=0$ ) 有电功	$-\Delta n_{\text{gas}}RT$ $-p\Delta V+W_{\text{电}}$	$Q_p=\Delta H$ $\Delta U+W_{\text{电}}$	$\Delta U=Q+W$ $\Delta U=Q+W$	$\Delta H=Q_p$ $Q+W_{\text{电}}$

时刻牢记 理想气体状态方程

$$pV = nRT$$

# 第一章 热力学第一定律及其应用

- 1.2 基本概念 P2
  - P2 系统
  - P4 状态函数
  - P5 热力学平衡
  - P8  $\delta W$ 、 $\delta Q$ 为“微小量”
- 1.3 热力学第一定律
  - P9  $dU = \delta Q + \delta W$
- 1.4 可逆过程 P10
  - P10  $U$ 是状态函数
  - P11 体积功的计算（自由、恒外压、可逆）
  - P15 可逆过程的定义
  - P18 可逆过程的特征

- 1.5 焓 P19
  - P19  $H \equiv U + pV$
- 1.7 热容 P22
  - P23  $\Delta U = nC_{V,m}\Delta T$ ,  $\Delta H = nC_{p,m}\Delta T$
  - P27  $C_{p,m} - C_{V,m} = R$ , 单、双原子的相应值
  - P29 理想气体的绝热过程,  $W = \Delta U$
  - P30 可能有的小红说的五个公式
  - P32 理想气体的特征
  - P40 盖斯定律
- P56本章小结 P58表1-6 第二章习题最后一题完善



## 第二章 热力学第二定律

- 2.1 自发过程 P63
- 2.2 热力学第二定律 P64
  - P65 局限性：不要考虑宇宙里熵爆了怎么办
- 2.3 卡诺热机 P65
  - P67  $\eta = 1 - T_2/T_1 \leq 1$
- 2.4 熵函数 P68
  - P68 卡诺循环的热温商  $Q_1/T_1 + Q_2/T_2 = 0$
  - P70  $\oint dS = 0$

- 2.5 熵增原理 P71
  - P72 克劳修斯不等式:  $dS \geq \delta Q/T$
- 2.7 热力学第三定律 P76
  - P77 热力学第三定律
  - P77 规定熵
- 2.8 熵变的计算 P79
  - P79 1.等温:  $\Delta S = Q_R/T = nR \ln(V_2/V_1)$
  - P82 2.变温:  $\Delta S_V = C_V \ln(T_2/T_1)$ ,  $\Delta S_p = C_p \ln(T_2/T_1)$
- 2.9 亥姆霍兹函数和吉布斯函数 P87
  - P87  $A \equiv U - TS$
  - P88  $G \equiv H - TS \equiv A + pV$

- 2.10 热力学基本关系式 P89
  - P89 右下角的关系图
  - P90  $dU$ ,  $dH$ ,  $dA$ ,  $dG$
- 2.11  $\Delta G$ 的求算 P92
  - P92 等温时:  $\Delta G = \int_{p_1}^{p_2} V dp = nRT \ln(V_1/V_2)$
- 自己整理: P117 习题2-17



你已经凉了，兄弟



涼了你熱熱不就成了嗎

然后计算此过程的 $\Delta U$ 、  
 $\Delta H$ 、 $\Delta G$ 、 $\Delta S$ 、 $Q$ 和 $W$

# 热力学大题

1mol双原子分子理想气体由始态 ( $300\text{K}$ ,  $10P^0$ ) , 经历如下途径膨胀到 $1P^0$ :

- (1) 等温可逆膨胀;
- (2) 等温恒外压 ( $1P^0$ ) 膨胀;
- (3) 向真空膨胀;
- (4) 绝热可逆膨胀;
- (5) 等外压 ( $1P^0$ ) 绝热膨胀

求此过程的 $Q$ ,  $W$ ,  $\Delta U$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta A$ ,  $\Delta G$ , (4) (5) 不必求 $\Delta S$ ,  $\Delta A$ 和 $\Delta G$ 。

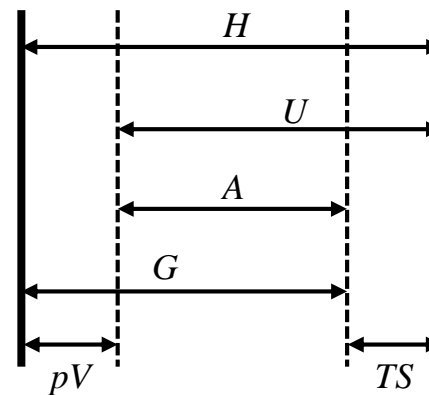
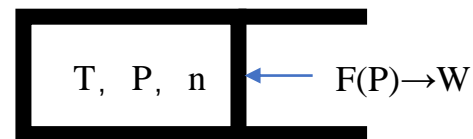
# 热力学大题

1mol双原子分子理想气体由始态（300K， $10P^\theta$ ），经历如下途径膨胀到 $1P^\theta$ ：

- （1）等温可逆膨胀；
- （2）等温恒外压（ $1P^\theta$ ）膨胀；
- （3）向真空膨胀；
- （4）绝热可逆膨胀；
- （5）等外压（ $1P^\theta$ ）绝热膨胀

求此过程的 $Q$ ， $W$ ， $\Delta U$ ， $\Delta H$ ， $\Delta S$ ， $\Delta A$ ， $\Delta G$ ，

（4）（5）不必求 $\Delta S$ ， $\Delta A$ 和 $\Delta G$ 。



$Q, W, \Delta H, \Delta U, \Delta G, \Delta A, \Delta S$  状态函数

$$pV = nRT$$

$$\delta W = -p_{\text{外}} dV \quad \text{积分} \quad W = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = -nRT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$dG = -SdT + Vdp \quad \text{等温时积分} \quad \Delta G = \int_{P_1}^{P_2} V dp = \int_{P_1}^{P_2} \frac{nRT}{p} dp = nRT \ln \frac{V_1}{V_2} = nRT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$\Delta U = W + Q$  自由能转化为功和热

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{可逆}}}{T}$$

$$dA = -SdT - pdV, \text{等温时 } dA = \delta W.$$

双原子分子,  $C_{p,m} = C_{v,m} + R$ ,  $C_{v,m} = \frac{5}{2}R$ .

$$\text{绝热可逆时, } p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma, \text{ 其中 } \gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{v,m}} = \frac{\frac{7}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \frac{7}{5}$$

$$\text{绝热 } \Delta U = C_V(T_2 - T_1)$$

$$= n C_{v,m}(T_2 - T_1)$$

$$\Delta H = C_P(T_2 - T_1)$$

$$= n C_{p,m}(T_2 - T_1)$$





1mol双原子分子理想气体由始态（300K， $10P^\theta$ ），  
膨胀到 $1P^\theta$ ：

题号	Q	W	$\Delta U$	$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta A$	$\Delta G$
1							
2							
3							
4							
5							

1mol双原子分子理想气体由始态 (300K, 10P<sup>0</sup>) , 经历如下途径膨胀到1P<sup>0</sup>:

(1) 等温可逆膨胀;

(1) 等温可逆: 状态函数 U, H 不变 (只与温度有关) 但 G, A 并非

$$\Delta U = \Delta H = 0.$$

$$W = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = -nRT \ln \frac{P_1}{P_2} = -1 \times 8.314 \times 300 \times \ln 10 = -5743 \text{ J}.$$

$$Q = \Delta U - W = -W = 5743 \text{ J}$$

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{可逆}}}{T} = \frac{5747 \text{ J}}{300 \text{ K}} = 19.14 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{等温时 } \Delta A = W = -5743 \text{ J}$$

$$\Delta G = nRT \ln \frac{P_2}{P_1} = 1 \times 8.314 \times 300 \times \ln \frac{1}{10} = -5743 \text{ J} \text{ /not/}$$

1mol双原子分子理想气体由始态（300K， $10P^\theta$ ），  
膨胀到 $1P^\theta$ ：

题号	Q	W	$\Delta U$	$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta A$	$\Delta G$
1	5473 J	- 5743 J	0	0	$19.14 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$	- 5743 J	- 5743 J
2							
3							
4							
5							

1mol双原子分子理想气体由始态(300K, 10P<sup>0</sup>), 经历如下途径膨胀到1P<sup>0</sup>:

(2) 等温恒外压(1P<sup>0</sup>)膨胀;

(3) 向真空膨胀;

(2) 等温恒外压.  $\Delta U = \Delta H = 0.$

$$W = -p_{\text{外}} \Delta V = -p_{\text{外}} (V_2 - V_1) = -p_{\text{外}} \left( \frac{p_1}{p_2} - 1 \right) \cdot V_1 = -p^0 \left( \frac{10p^0}{p^0} - 1 \right) \cdot \frac{nRT_1}{10p^0}$$
$$= -\frac{9}{10} \cdot nRT = -\frac{9}{10} \times 1 \times 8.314 \times 300 = -2244.78 \text{ J}$$

$$Q = \Delta U - W = -W = 2244.78 \text{ J}$$

熵变与途径无关, 设计可逆过程(即第1问), 知:  $\Delta S = \Delta S_1 = 19.14 \text{ J K}^{-1}$  (不能使用  $Q_2$ )

$\Delta G, \Delta A$  为状态函数, 本题与第(1)问状态变化相同

$$\Delta G = -5743 \text{ J} \quad \Delta A = -5743 \text{ J}.$$

(3). 自由膨胀: 等温不可逆过程,  $p_{\text{外}} = 0$   $\delta W = -p_{\text{外}} dV = 0$ .  $Q = \Delta U - W = 0$ .

$\Delta H, \Delta U, \Delta G, \Delta A, \Delta S$  同第(1)问.

1mol双原子分子理想气体由始态（300K， $10P^\theta$ ），  
膨胀到 $1P^\theta$ ：

题号	Q	W	$\Delta U$	$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta A$	$\Delta G$
1	5473 J	- 5743 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
2	2245 J	- 2245 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
3	0	0	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
4							
5							

1mol双原子分子理想气体由始态(300K, 10P<sup>θ</sup>), 经历如下途径膨胀到1P<sup>θ</sup>:

(4) 绝热可逆膨胀;

$$(4) \text{ 绝热可逆: } p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad \gamma = \frac{7}{5} \quad V_1 = \frac{nRT_1}{p_1} = \frac{1 \times 8.314 \times 300}{10 \times 100k} = 2.494 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V_1 = \left(\frac{10P^\theta}{P^\theta}\right)^{\frac{5}{7}} \times 2.492 \times 10^{-3} (\text{m}^3) = 12.907 \times 10^{-3} (\text{m}^3)$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR} = \frac{P^\theta \times 12.907 \times 10^{-3}}{1 \times 8.314} = 155.2 \text{ K}$$

$$\text{或 } T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}} T_1 = \left(\frac{P^\theta}{10P^\theta}\right)^{1-\frac{5}{7}} \cdot 300 \text{ K} = \underline{155.4 \text{ K}}_{\text{更准确}}$$

$$\Delta U = nC_{V,m}(T_2 - T_1) = 1 \times \frac{5}{2} R \times (155.4 - 300) = -3005.5 \text{ J}$$

$$\text{绝热, } Q=0 \quad \therefore W = \Delta U = -3005.5 \text{ J}$$

$$\Delta H = n \cdot C_{p,m}(T_2 - T_1) = 1 \times \frac{7}{2} R \times (155.7 - 300) = -4207.7 \text{ J}$$

1mol双原子分子理想气体由始态（300K， $10P^\theta$ ），  
膨胀到 $1P^\theta$ ：

题号	Q	W	$\Delta U$	$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta A$	$\Delta G$
1	5473 J	- 5743 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
2	2245 J	- 2245 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
3	0	0	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
4	0	- 3006 J	- 3006 J	- 4208 J			
5							

1mol双原子分子理想气体由始态 (300K, 10P<sup>0</sup>), 经历如下途径膨胀到1P<sup>0</sup>:

(5) 等外压 (1P<sup>0</sup>) 绝热膨胀

(5) 不可逆绝热:  $Q=0$

$$pV=nRT$$

~~$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$~~

$$W=\Delta U$$

$$-P_{\text{外}}(V_2-V_1) = C_V(T_2-T_1)$$

$$-P_2\left(\frac{nRT_2}{P_2} - \frac{nRT_1}{P_1}\right) = n \cdot C_{V,m}(T_2-T_1)$$

整理得:  $\frac{P_2}{P_1}T_1 - T_2 = \frac{5}{2}(T_2-T_1)$

代入解得:  $T_2 = 222.9 \text{ K}$

$$V_2 = \frac{nRT_2}{P_2} = \frac{1 \times 8.314 \times 222.9}{100 \times 10^3} = 18.53 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

(可不求)

$$W = \Delta U = n \cdot C_{V,m}(T_2-T_1) = 1 \times \frac{5}{2} \times 8.314 \times (222.9 - 300) = -1602.5 \text{ J}$$

$$\Delta H = n C_{P,m}(T_2-T_1) = 1 \times \frac{7}{2} \times 8.314 \times (222.9 - 300) = -2243.5 \text{ J}$$



1mol双原子分子理想气体由始态（300K， $10P^\theta$ ），  
膨胀到 $1P^\theta$ ：

题号	Q	W	$\Delta U$	$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta A$	$\Delta G$
1	5473 J	- 5743 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
2	2245 J	- 2245 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
3	0	0	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
4	0	- 3006 J	- 3006 J	- 4208 J			
5	0	- 1603 J	- 1603 J	- 2244 J			

1mol双原子分子理想气体由始态（300K， $10P^\theta$ ），  
膨胀到 $1P^\theta$ ：

题号	Q	W	$\Delta U$	$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta A$	$\Delta G$
1	5473 J	- 5743 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
2	2245 J	- 2245 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
3	0	0	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
4	0	- 3006 J	- 3006 J	- 4208 J			
5	0	- 1603 J	- 1603 J	- 2244 J			

1mol双原子分子理想气体由始态（300K， $10P^\theta$ ），  
膨胀到 $1P^\theta$ ：

题号	Q	W	$\Delta U$	$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta A$	$\Delta G$
1	5473 J	- 5743 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
2	2245 J	- 2245 J	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
3	0	0	0	0	19.14 J·K <sup>-1</sup>	- 5743 J	- 5743 J
4	0	- 3006 J	- 3006 J	- 4208 J			
5	0	- 1603 J	- 1603 J	- 2244 J			