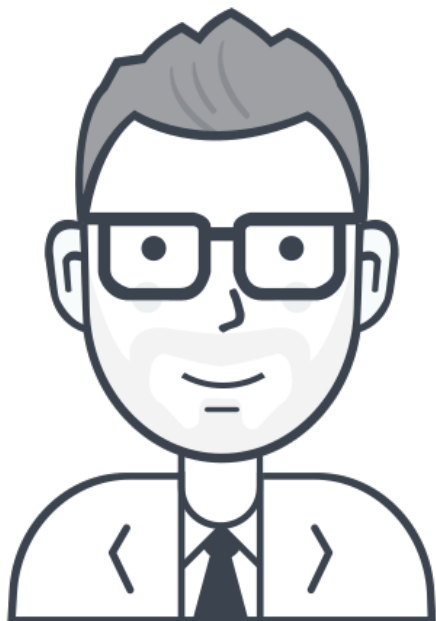


Алгоритм шифрования

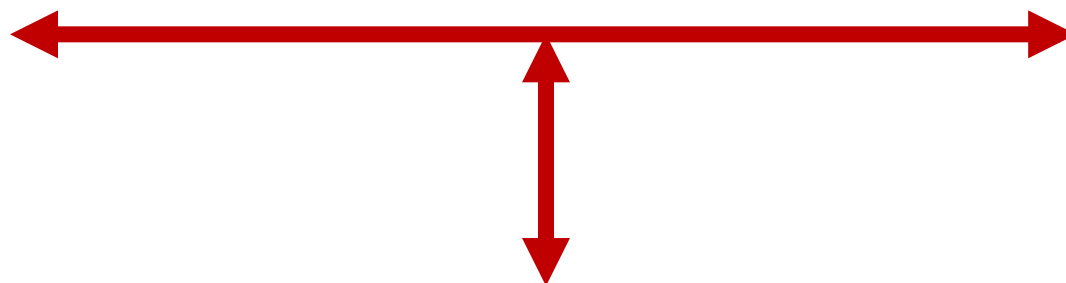
Advanced Encryption Standard

Проблема



Алексей

Незащищенный открытый канал связи



Ксения



Коварный русский хакер

Шифрование



Ключ шифрования

Навальный
20!8

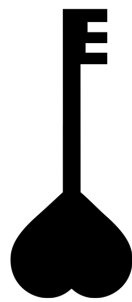
```
#include <aes1.h>  
encrypt("%s", "%s");
```

Л4ЮБ9Л2Ют
1иЕбрЯ

Алгоритм
шифрования

Дешифрование

Ключ дешифрования



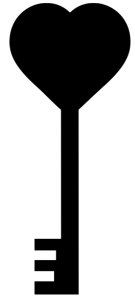
Навальный
20!8

```
#include <aes2.h>  
decrypt("%s", "%s");
```

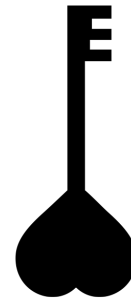
Л4ЮБ9Л2Ют
1иЕбрЯ

Алгоритм
дешифрования

Симметричное шифрование



Ключ шифрования



Ключ дешифрования



Алексей

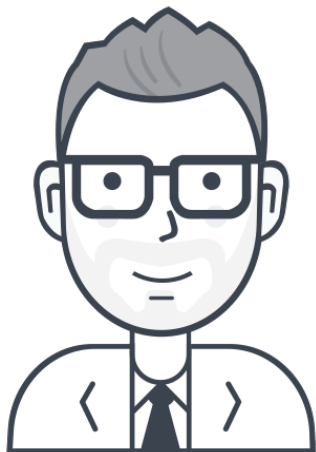


Ксения

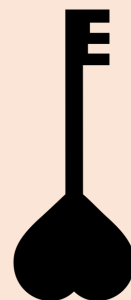
Асимметричное шифрование



Ключ шифрования



Алексей



Ключ дешифрования



Ксения

Способы шифровать

А ---> В

...

Б ---> Г

1d ---> 2n

В ---> Д

1e ---> 9a

Г ---> Е

1f ---> 5c

...

...

Табличное преобразование

Способы шифровать

Моу-батуа ----> у-туМоба а

Pushkin ----> hsuPnik

Перестановки

Способы шифровать

$$0xa1 \oplus 0x6e = 0xcf$$

$$10100001 \oplus 01101110 = 11001111$$

Сложение байтов данных:

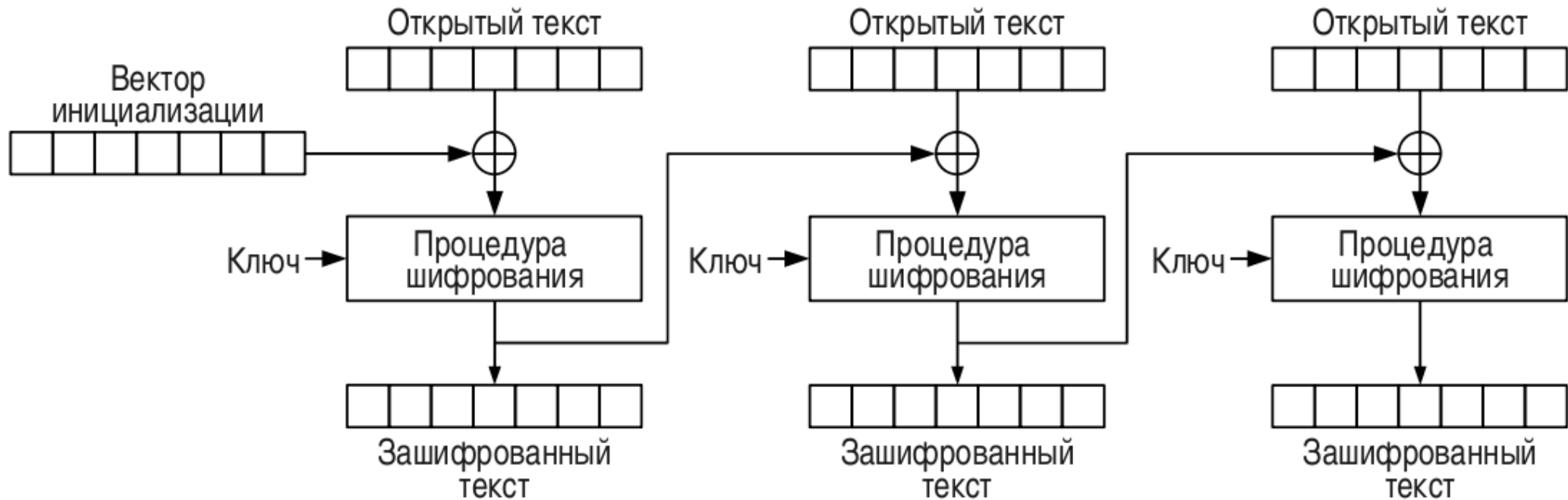
- С соседними байтами данных
- С константой
- С байтами ключа

Способы шифровать

Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г
Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г
Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г
Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г
Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г
Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г	Г	Т	Г

Шифровать блоки фиксированного размера
отдельно, дополнять неполные блоки
незначащими символами

Способы шифровать



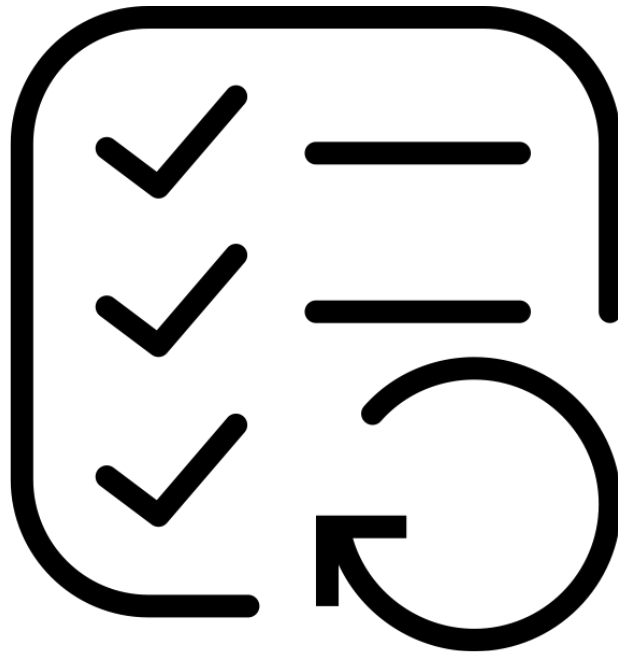
Использовать предыдущие зашифрованные блоки для шифрования следующего

Способы шифровать

20!8 -->L2or0em!ip8su\m

Добавлять шум

Способы шифровать



Комбинировать и повторять

AES

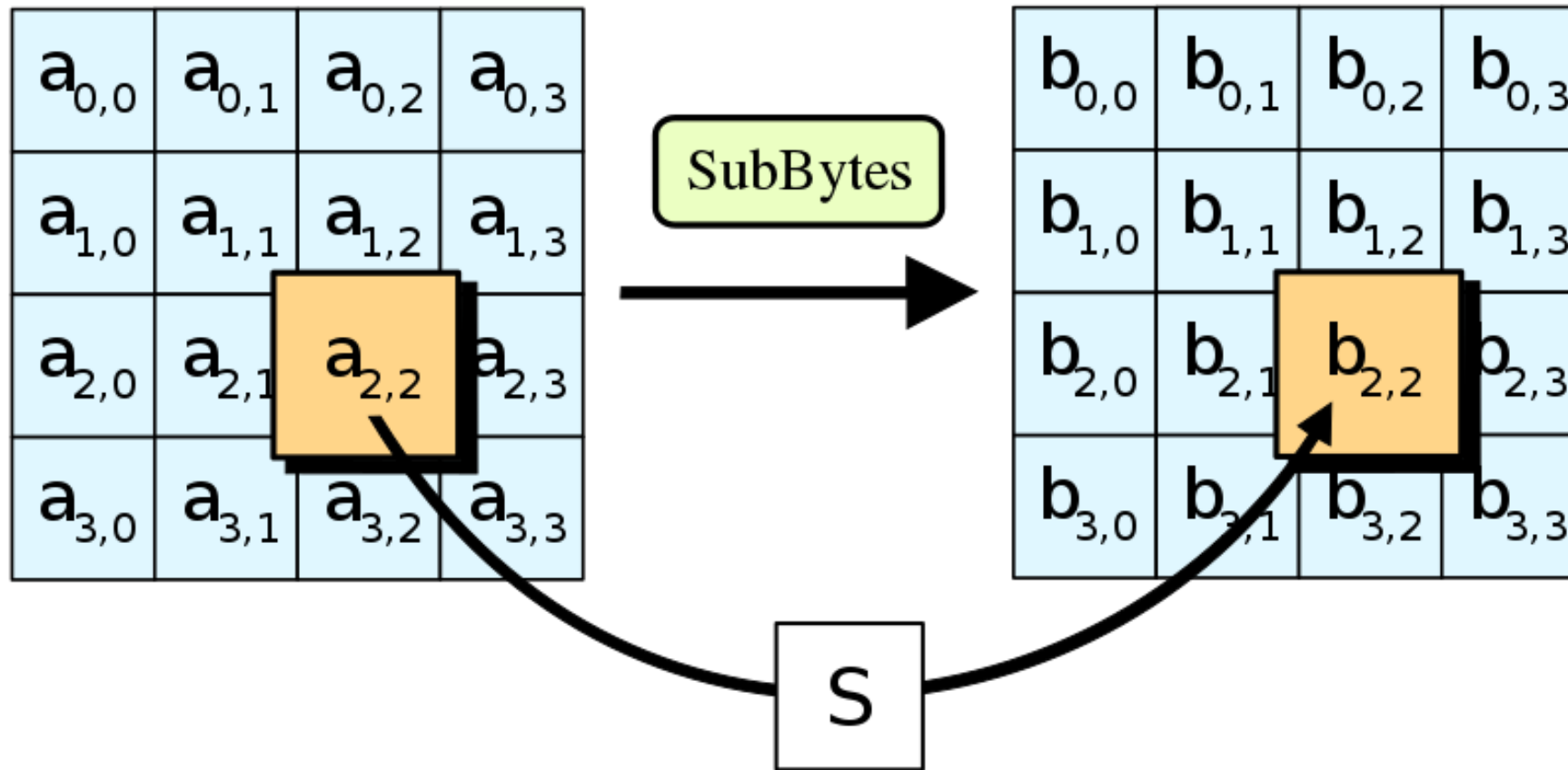
- Симметричный алгоритм шифрования
- Стандарт шифрования, принятый правительством США
- Один из самых используемых алгоритмов симметричного шифрования
- Алгоритм **Rijndael** [Рэндал] с размером блока 128 бит
- Возможные размеры ключа шифрования: 128/192/256 бит

Работаем с блоками по 128 бит (16 байт)

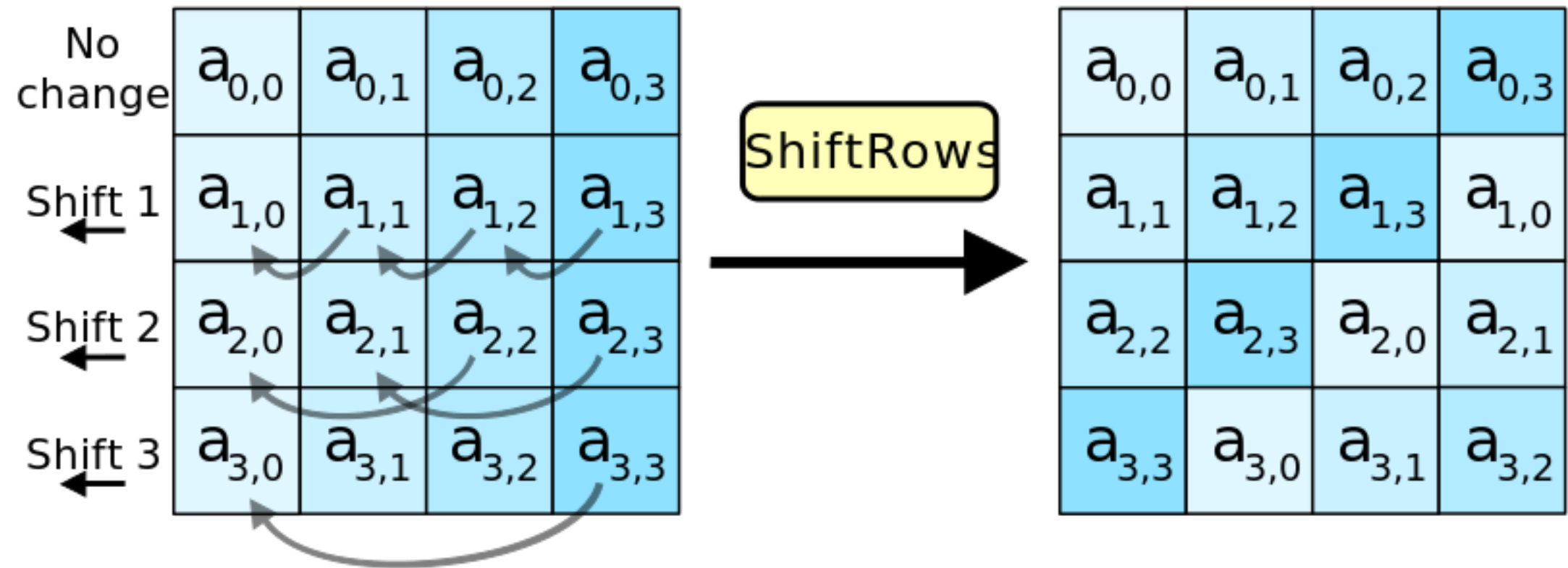
Операция 1. Замена байтов по таблице S-box

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0a	0b	0c	0d	0e	0f
00	63	7c	77	7b	f2	6b	6f	c5	30	01	67	2b	fe	d7	ab	76
10	ca	82	c9	7d	fa	59	47	f0	ad	d4	a2	af	9c	a4	72	c0
20	b7	fd	93	26	36	3f	f7	cc	34	a5	e5	f1	71	d8	31	15
30	04	c7	23	c3	18	96	05	9a	07	12	80	e2	eb	27	b2	75
40	09	83	2c	1a	1b	6e	5a	a0	52	3b	d6	b3	29	e3	2f	84
50	53	d1	00	ed	20	fc	b1	5b	6a	cb	be	39	4a	4c	58	cf
60	d0	ef	aa	fb	43	4d	33	85	45	f9	02	7f	50	3c	9f	a8
70	51	a3	40	8f	92	9d	38	f5	bc	b6	da	21	10	ff	f3	d2
80	cd	0c	13	ec	5f	97	44	17	c4	a7	7e	3d	64	5d	19	73
90	60	81	4f	dc	22	2a	90	88	46	ee	b8	14	de	5e	0b	db
a0	e0	32	3a	0a	49	06	24	5c	c2	d3	ac	62	91	95	e4	79
b0	e7	c8	37	6d	8d	d5	4e	a9	6c	56	f4	ea	65	7a	ae	08
c0	ba	78	25	2e	1c	a6	b4	c6	e8	dd	74	1f	4b	bd	8b	8a
d0	70	3e	b5	66	48	03	f6	0e	61	35	57	b9	86	c1	1d	9e
e0	e1	f8	98	11	69	d9	8e	94	9b	1e	87	e9	ce	55	28	df
f0	8c	a1	89	0d	bf	e6	42	68	41	99	2d	0f	b0	54	bb	16

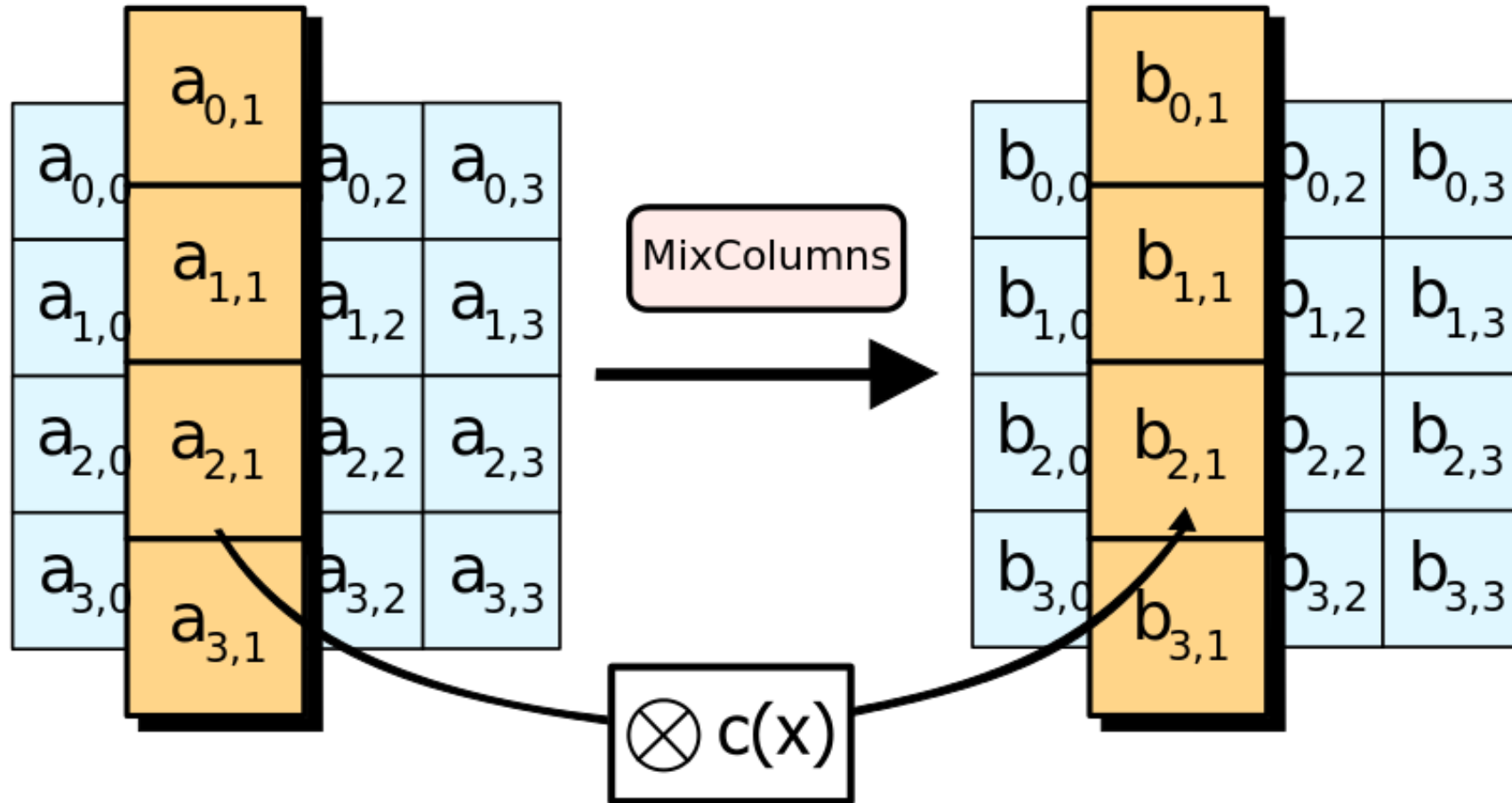
Операция 1. Замена байтов по таблице S-box



Операция 2. Циклическая перестановка



Операция 3. Умножение (сложение) столбцов



Операция 3. Умножение столбцов

$$d_0 = 2 \bullet b_0 \oplus 3 \bullet b_1 \oplus 1 \bullet b_2 \oplus 1 \bullet b_3$$

$$d_1 = 1 \bullet b_0 \oplus 2 \bullet b_1 \oplus 3 \bullet b_2 \oplus 1 \bullet b_3$$

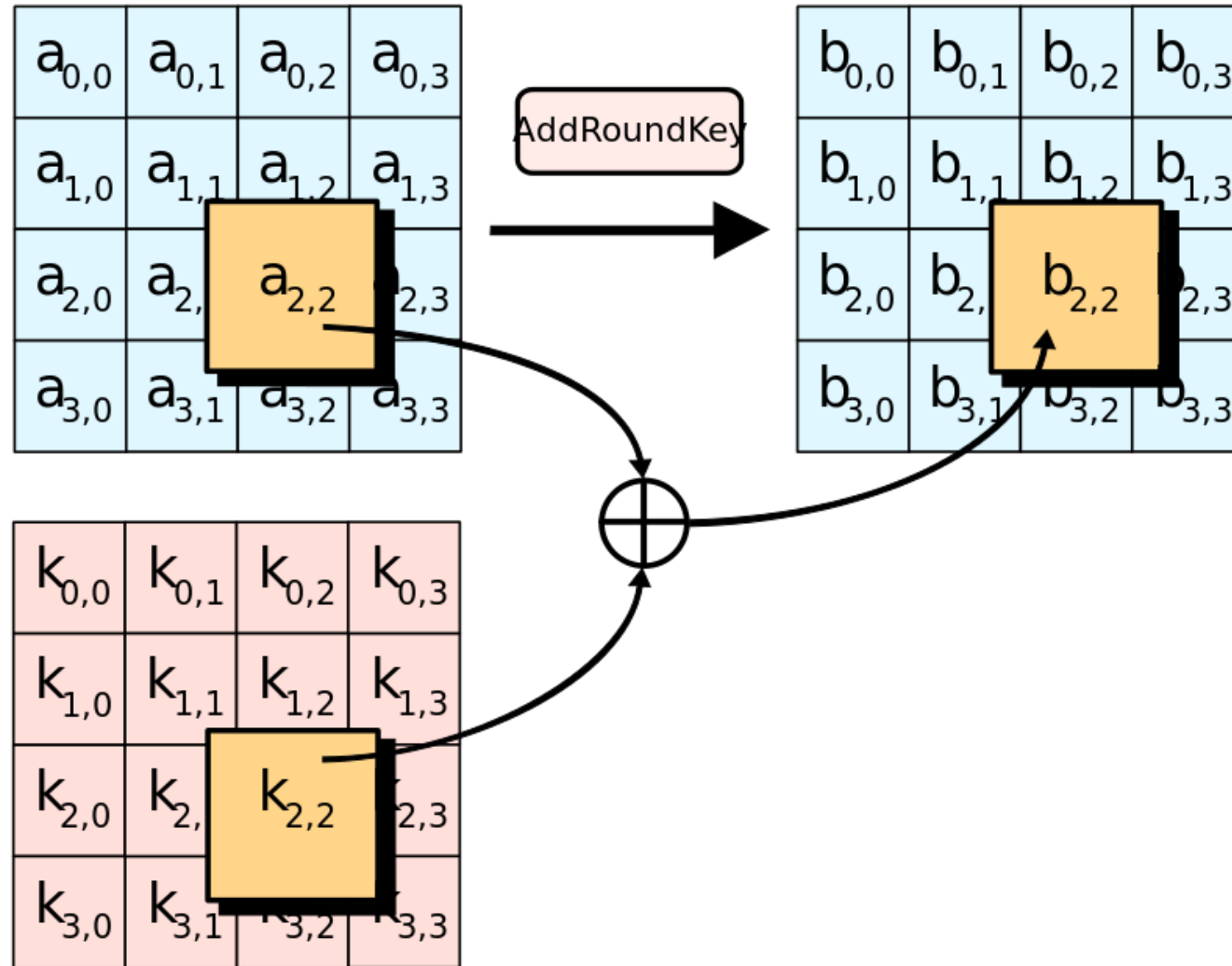
$$d_2 = 1 \bullet b_0 \oplus 1 \bullet b_1 \oplus 2 \bullet b_2 \oplus 3 \bullet b_3$$

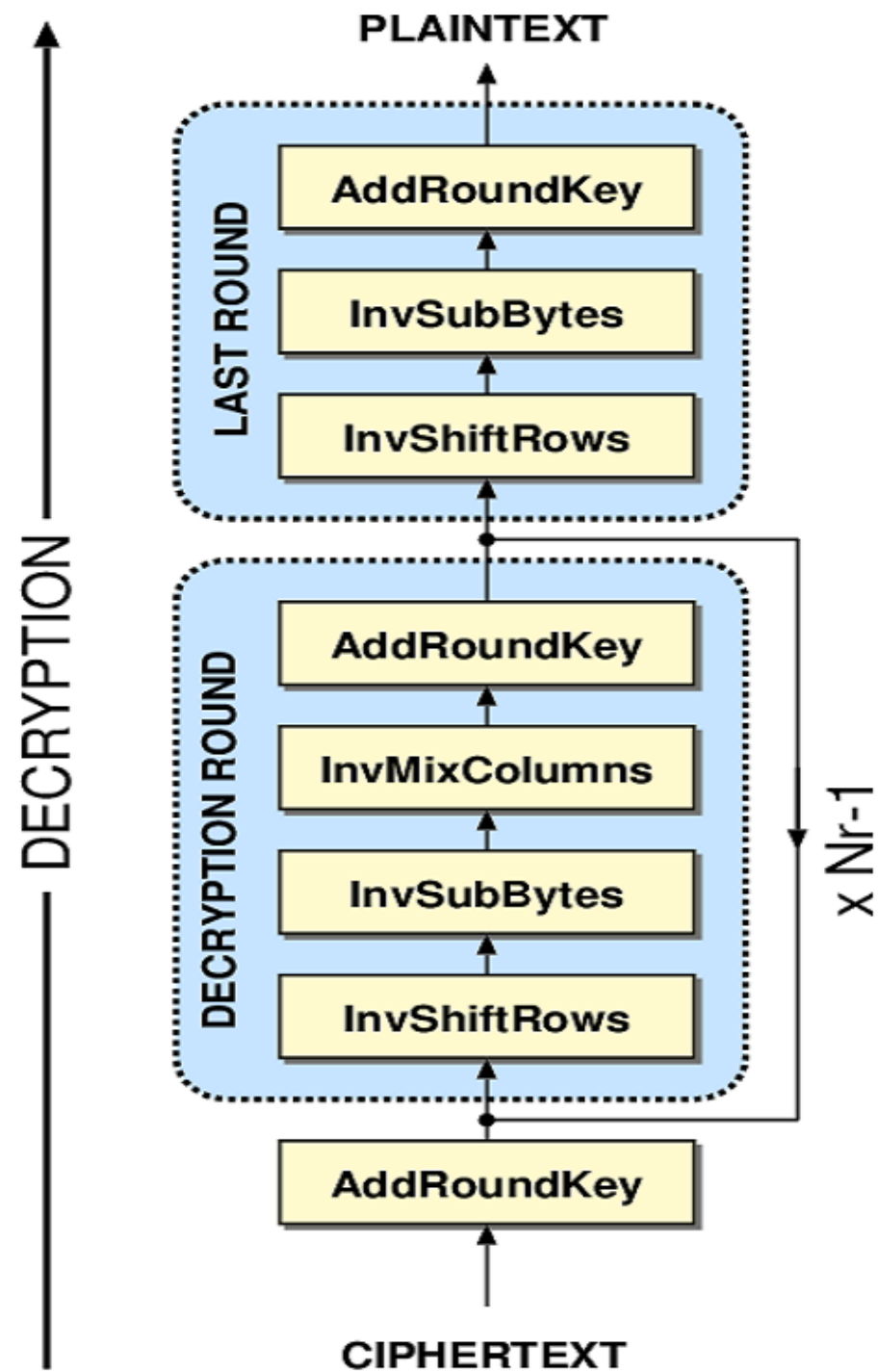
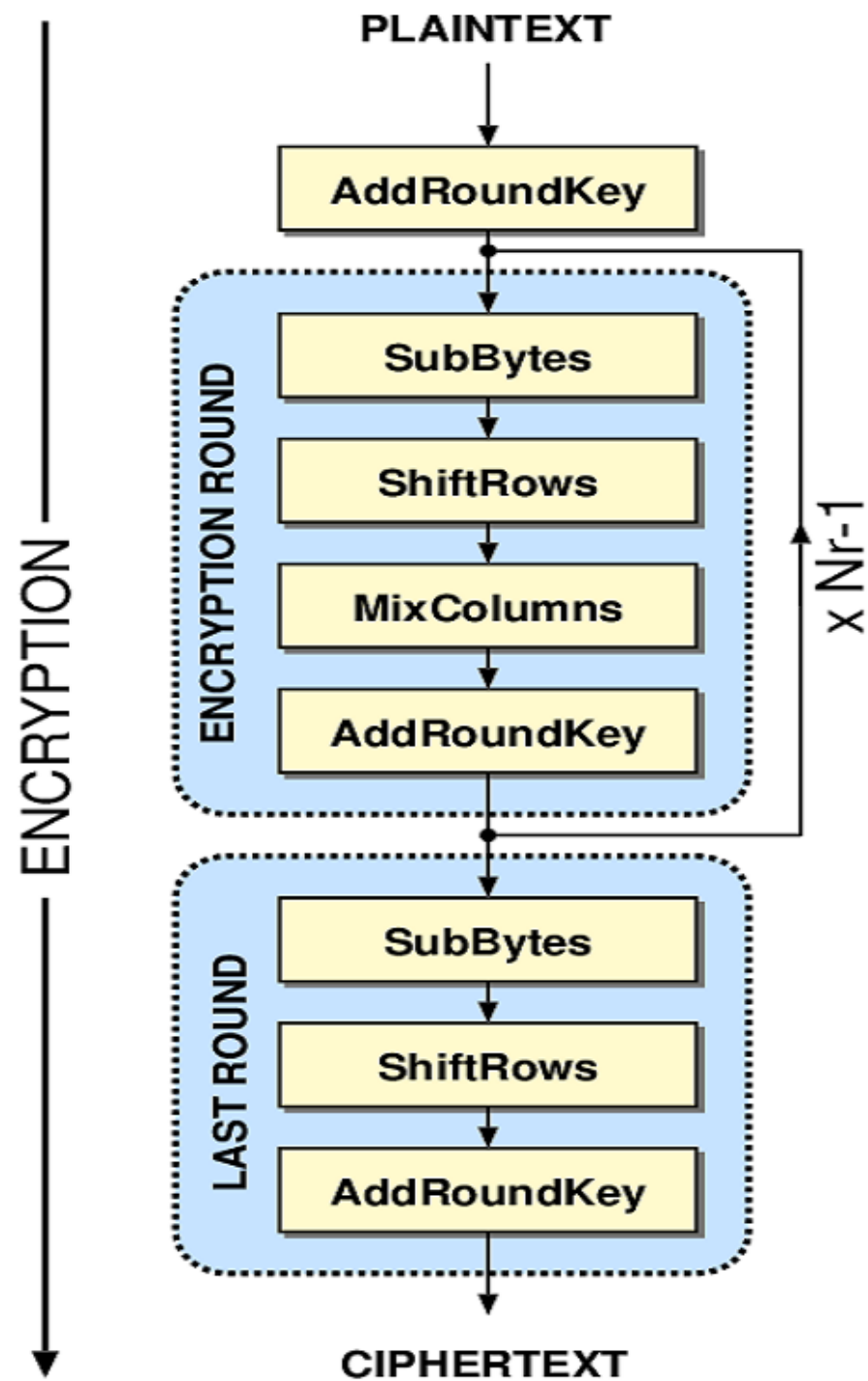
$$d_3 = 3 \bullet b_0 \oplus 1 \bullet b_1 \oplus 1 \bullet b_2 \oplus 2 \bullet b_3$$

Операция 3. Умножение столбцов

$$\begin{bmatrix} d_0 \\ d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

Операция 4. Побитовое сложение с ключом

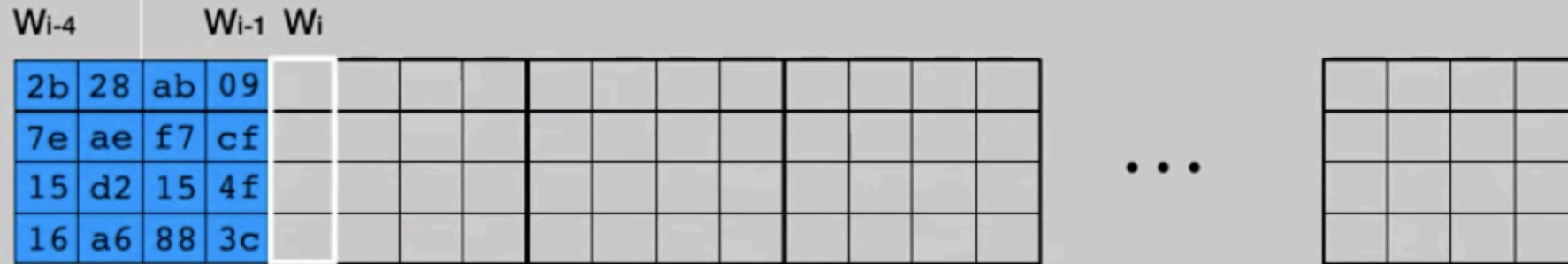




	Round 2	Round 3	Round 4	Round 5	Round 6																																																																																
	↓	↓	↓	↓	↓																																																																																
After SubBytes	<table><tr><td>49</td><td>45</td><td>7f</td><td>77</td></tr><tr><td>de</td><td>db</td><td>39</td><td>02</td></tr><tr><td>d2</td><td>96</td><td>87</td><td>53</td></tr><tr><td>89</td><td>f1</td><td>1a</td><td>3b</td></tr></table>	49	45	7f	77	de	db	39	02	d2	96	87	53	89	f1	1a	3b	<table><tr><td>ac</td><td>ef</td><td>13</td><td>45</td></tr><tr><td>73</td><td>c1</td><td>b5</td><td>23</td></tr><tr><td>cf</td><td>11</td><td>d6</td><td>5a</td></tr><tr><td>7b</td><td>df</td><td>b5</td><td>b8</td></tr></table>	ac	ef	13	45	73	c1	b5	23	cf	11	d6	5a	7b	df	b5	b8	<table><tr><td>52</td><td>85</td><td>e3</td><td>f6</td></tr><tr><td>50</td><td>a4</td><td>11</td><td>cf</td></tr><tr><td>2f</td><td>5e</td><td>c8</td><td>6a</td></tr><tr><td>28</td><td>d7</td><td>07</td><td>94</td></tr></table>	52	85	e3	f6	50	a4	11	cf	2f	5e	c8	6a	28	d7	07	94	<table><tr><td>e1</td><td>e8</td><td>35</td><td>97</td></tr><tr><td>4f</td><td>fb</td><td>c8</td><td>6c</td></tr><tr><td>d2</td><td>fb</td><td>96</td><td>ae</td></tr><tr><td>9b</td><td>ba</td><td>53</td><td>7c</td></tr></table>	e1	e8	35	97	4f	fb	c8	6c	d2	fb	96	ae	9b	ba	53	7c	<table><tr><td>a1</td><td>78</td><td>10</td><td>4c</td></tr><tr><td>63</td><td>4f</td><td>e8</td><td>d5</td></tr><tr><td>a8</td><td>29</td><td>3d</td><td>03</td></tr><tr><td>fc</td><td>df</td><td>23</td><td>fe</td></tr></table>	a1	78	10	4c	63	4f	e8	d5	a8	29	3d	03	fc	df	23	fe
49	45	7f	77																																																																																		
de	db	39	02																																																																																		
d2	96	87	53																																																																																		
89	f1	1a	3b																																																																																		
ac	ef	13	45																																																																																		
73	c1	b5	23																																																																																		
cf	11	d6	5a																																																																																		
7b	df	b5	b8																																																																																		
52	85	e3	f6																																																																																		
50	a4	11	cf																																																																																		
2f	5e	c8	6a																																																																																		
28	d7	07	94																																																																																		
e1	e8	35	97																																																																																		
4f	fb	c8	6c																																																																																		
d2	fb	96	ae																																																																																		
9b	ba	53	7c																																																																																		
a1	78	10	4c																																																																																		
63	4f	e8	d5																																																																																		
a8	29	3d	03																																																																																		
fc	df	23	fe																																																																																		
After ShiftRows	<table><tr><td>49</td><td>45</td><td>7f</td><td>77</td></tr><tr><td>db</td><td>39</td><td>02</td><td>de</td></tr><tr><td>87</td><td>53</td><td>d2</td><td>96</td></tr><tr><td>3b</td><td>89</td><td>f1</td><td>1a</td></tr></table>	49	45	7f	77	db	39	02	de	87	53	d2	96	3b	89	f1	1a	<table><tr><td>ac</td><td>ef</td><td>13</td><td>45</td></tr><tr><td>c1</td><td>b5</td><td>23</td><td>73</td></tr><tr><td>d6</td><td>5a</td><td>cf</td><td>11</td></tr><tr><td>b8</td><td>7b</td><td>df</td><td>b5</td></tr></table>	ac	ef	13	45	c1	b5	23	73	d6	5a	cf	11	b8	7b	df	b5	<table><tr><td>52</td><td>85</td><td>e3</td><td>f6</td></tr><tr><td>a4</td><td>11</td><td>cf</td><td>50</td></tr><tr><td>c8</td><td>6a</td><td>2f</td><td>5e</td></tr><tr><td>94</td><td>28</td><td>d7</td><td>07</td></tr></table>	52	85	e3	f6	a4	11	cf	50	c8	6a	2f	5e	94	28	d7	07	<table><tr><td>e1</td><td>e8</td><td>35</td><td>97</td></tr><tr><td>fb</td><td>c8</td><td>6c</td><td>4f</td></tr><tr><td>96</td><td>ae</td><td>d2</td><td>fb</td></tr><tr><td>7c</td><td>9b</td><td>ba</td><td>53</td></tr></table>	e1	e8	35	97	fb	c8	6c	4f	96	ae	d2	fb	7c	9b	ba	53	<table><tr><td>a1</td><td>78</td><td>10</td><td>4c</td></tr><tr><td>4f</td><td>e8</td><td>d5</td><td>63</td></tr><tr><td>3d</td><td>03</td><td>a8</td><td>29</td></tr><tr><td>fe</td><td>fc</td><td>df</td><td>23</td></tr></table>	a1	78	10	4c	4f	e8	d5	63	3d	03	a8	29	fe	fc	df	23
49	45	7f	77																																																																																		
db	39	02	de																																																																																		
87	53	d2	96																																																																																		
3b	89	f1	1a																																																																																		
ac	ef	13	45																																																																																		
c1	b5	23	73																																																																																		
d6	5a	cf	11																																																																																		
b8	7b	df	b5																																																																																		
52	85	e3	f6																																																																																		
a4	11	cf	50																																																																																		
c8	6a	2f	5e																																																																																		
94	28	d7	07																																																																																		
e1	e8	35	97																																																																																		
fb	c8	6c	4f																																																																																		
96	ae	d2	fb																																																																																		
7c	9b	ba	53																																																																																		
a1	78	10	4c																																																																																		
4f	e8	d5	63																																																																																		
3d	03	a8	29																																																																																		
fe	fc	df	23																																																																																		
After MixColumns	<table><tr><td>58</td><td>1b</td><td>db</td><td>1b</td></tr><tr><td>4d</td><td>4b</td><td>e7</td><td>6b</td></tr><tr><td>ca</td><td>5a</td><td>ca</td><td>b0</td></tr><tr><td>f1</td><td>ac</td><td>a8</td><td>e5</td></tr></table>	58	1b	db	1b	4d	4b	e7	6b	ca	5a	ca	b0	f1	ac	a8	e5	<table><tr><td>75</td><td>20</td><td>53</td><td>bb</td></tr><tr><td>ec</td><td>0b</td><td>c0</td><td>25</td></tr><tr><td>09</td><td>63</td><td>cf</td><td>d0</td></tr><tr><td>93</td><td>33</td><td>7c</td><td>dc</td></tr></table>	75	20	53	bb	ec	0b	c0	25	09	63	cf	d0	93	33	7c	dc	<table><tr><td>0f</td><td>60</td><td>6f</td><td>5e</td></tr><tr><td>d6</td><td>31</td><td>c0</td><td>b3</td></tr><tr><td>da</td><td>38</td><td>10</td><td>13</td></tr><tr><td>a9</td><td>bf</td><td>6b</td><td>01</td></tr></table>	0f	60	6f	5e	d6	31	c0	b3	da	38	10	13	a9	bf	6b	01	<table><tr><td>25</td><td>bd</td><td>b6</td><td>4c</td></tr><tr><td>d1</td><td>11</td><td>3a</td><td>4c</td></tr><tr><td>a9</td><td>d1</td><td>33</td><td>c0</td></tr><tr><td>ad</td><td>68</td><td>8e</td><td>b0</td></tr></table>	25	bd	b6	4c	d1	11	3a	4c	a9	d1	33	c0	ad	68	8e	b0	<table><tr><td>4b</td><td>2c</td><td>33</td><td>37</td></tr><tr><td>86</td><td>4a</td><td>9d</td><td>d2</td></tr><tr><td>8d</td><td>89</td><td>f4</td><td>18</td></tr><tr><td>6d</td><td>80</td><td>e8</td><td>d8</td></tr></table>	4b	2c	33	37	86	4a	9d	d2	8d	89	f4	18	6d	80	e8	d8
58	1b	db	1b																																																																																		
4d	4b	e7	6b																																																																																		
ca	5a	ca	b0																																																																																		
f1	ac	a8	e5																																																																																		
75	20	53	bb																																																																																		
ec	0b	c0	25																																																																																		
09	63	cf	d0																																																																																		
93	33	7c	dc																																																																																		
0f	60	6f	5e																																																																																		
d6	31	c0	b3																																																																																		
da	38	10	13																																																																																		
a9	bf	6b	01																																																																																		
25	bd	b6	4c																																																																																		
d1	11	3a	4c																																																																																		
a9	d1	33	c0																																																																																		
ad	68	8e	b0																																																																																		
4b	2c	33	37																																																																																		
86	4a	9d	d2																																																																																		
8d	89	f4	18																																																																																		
6d	80	e8	d8																																																																																		
	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕																																																																																
Round Key	<table><tr><td>f2</td><td>7a</td><td>59</td><td>73</td></tr><tr><td>c2</td><td>96</td><td>35</td><td>59</td></tr><tr><td>95</td><td>b9</td><td>80</td><td>f6</td></tr><tr><td>f2</td><td>43</td><td>7a</td><td>7f</td></tr></table>	f2	7a	59	73	c2	96	35	59	95	b9	80	f6	f2	43	7a	7f	<table><tr><td>3d</td><td>47</td><td>1e</td><td>6d</td></tr><tr><td>80</td><td>16</td><td>23</td><td>7a</td></tr><tr><td>47</td><td>fe</td><td>7e</td><td>88</td></tr><tr><td>7d</td><td>3e</td><td>44</td><td>3b</td></tr></table>	3d	47	1e	6d	80	16	23	7a	47	fe	7e	88	7d	3e	44	3b	<table><tr><td>ef</td><td>a8</td><td>b6</td><td>db</td></tr><tr><td>44</td><td>52</td><td>71</td><td>0b</td></tr><tr><td>a5</td><td>5b</td><td>25</td><td>ad</td></tr><tr><td>41</td><td>7f</td><td>3b</td><td>00</td></tr></table>	ef	a8	b6	db	44	52	71	0b	a5	5b	25	ad	41	7f	3b	00	<table><tr><td>d4</td><td>7c</td><td>ca</td><td>11</td></tr><tr><td>d1</td><td>83</td><td>f2</td><td>f9</td></tr><tr><td>c6</td><td>9d</td><td>b8</td><td>15</td></tr><tr><td>f8</td><td>87</td><td>bc</td><td>bc</td></tr></table>	d4	7c	ca	11	d1	83	f2	f9	c6	9d	b8	15	f8	87	bc	bc	<table><tr><td>6d</td><td>11</td><td>db</td><td>ca</td></tr><tr><td>88</td><td>0b</td><td>f9</td><td>00</td></tr><tr><td>a3</td><td>3e</td><td>86</td><td>93</td></tr><tr><td>7a</td><td>fd</td><td>41</td><td>fd</td></tr></table>	6d	11	db	ca	88	0b	f9	00	a3	3e	86	93	7a	fd	41	fd
f2	7a	59	73																																																																																		
c2	96	35	59																																																																																		
95	b9	80	f6																																																																																		
f2	43	7a	7f																																																																																		
3d	47	1e	6d																																																																																		
80	16	23	7a																																																																																		
47	fe	7e	88																																																																																		
7d	3e	44	3b																																																																																		
ef	a8	b6	db																																																																																		
44	52	71	0b																																																																																		
a5	5b	25	ad																																																																																		
41	7f	3b	00																																																																																		
d4	7c	ca	11																																																																																		
d1	83	f2	f9																																																																																		
c6	9d	b8	15																																																																																		
f8	87	bc	bc																																																																																		
6d	11	db	ca																																																																																		
88	0b	f9	00																																																																																		
a3	3e	86	93																																																																																		
7a	fd	41	fd																																																																																		
After AddRoundKey	<table><tr><td>aa</td><td>61</td><td>82</td><td>68</td></tr><tr><td>8f</td><td>dd</td><td>d2</td><td>32</td></tr><tr><td>5f</td><td>e3</td><td>4a</td><td>46</td></tr><tr><td>03</td><td>ef</td><td>d2</td><td>9a</td></tr></table>	aa	61	82	68	8f	dd	d2	32	5f	e3	4a	46	03	ef	d2	9a	<table><tr><td>48</td><td>67</td><td>4d</td><td>d6</td></tr><tr><td>6c</td><td>1d</td><td>e3</td><td>5f</td></tr><tr><td>4e</td><td>9d</td><td>b1</td><td>58</td></tr><tr><td>ee</td><td>0d</td><td>38</td><td>e7</td></tr></table>	48	67	4d	d6	6c	1d	e3	5f	4e	9d	b1	58	ee	0d	38	e7	<table><tr><td>e0</td><td>c8</td><td>d9</td><td>85</td></tr><tr><td>92</td><td>63</td><td>b1</td><td>b8</td></tr><tr><td>7f</td><td>63</td><td>35</td><td>be</td></tr><tr><td>e8</td><td>c0</td><td>50</td><td>01</td></tr></table>	e0	c8	d9	85	92	63	b1	b8	7f	63	35	be	e8	c0	50	01	<table><tr><td>f1</td><td>c1</td><td>7c</td><td>5d</td></tr><tr><td>00</td><td>92</td><td>c8</td><td>b5</td></tr><tr><td>6f</td><td>4c</td><td>8b</td><td>d5</td></tr><tr><td>55</td><td>ef</td><td>32</td><td>0c</td></tr></table>	f1	c1	7c	5d	00	92	c8	b5	6f	4c	8b	d5	55	ef	32	0c	<table><tr><td>26</td><td>3d</td><td>e8</td><td>fd</td></tr><tr><td>0e</td><td>41</td><td>64</td><td>d2</td></tr><tr><td>2e</td><td>b7</td><td>72</td><td>8b</td></tr><tr><td>17</td><td>7d</td><td>a9</td><td>25</td></tr></table>	26	3d	e8	fd	0e	41	64	d2	2e	b7	72	8b	17	7d	a9	25
aa	61	82	68																																																																																		
8f	dd	d2	32																																																																																		
5f	e3	4a	46																																																																																		
03	ef	d2	9a																																																																																		
48	67	4d	d6																																																																																		
6c	1d	e3	5f																																																																																		
4e	9d	b1	58																																																																																		
ee	0d	38	e7																																																																																		
e0	c8	d9	85																																																																																		
92	63	b1	b8																																																																																		
7f	63	35	be																																																																																		
e8	c0	50	01																																																																																		
f1	c1	7c	5d																																																																																		
00	92	c8	b5																																																																																		
6f	4c	8b	d5																																																																																		
55	ef	32	0c																																																																																		
26	3d	e8	fd																																																																																		
0e	41	64	d2																																																																																		
2e	b7	72	8b																																																																																		
17	7d	a9	25																																																																																		



Key Schedule



$$\begin{array}{|c|} \hline 2b \\ \hline 7e \\ \hline 15 \\ \hline 16 \\ \hline \end{array} \oplus \begin{array}{|c|} \hline 8a \\ \hline 84 \\ \hline eb \\ \hline 01 \\ \hline \end{array} \oplus \begin{array}{|c|} \hline 01 \\ \hline 00 \\ \hline 00 \\ \hline 00 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline a0 \\ \hline fa \\ \hline fe \\ \hline 17 \\ \hline \end{array}$$

Rcon(4)

Ключи раундов формируются из входного ключа шифрования

[illegible]

Key Schedule

W _{i-4}				W _{i-1}	W _i													
2b	28	ab	09	a0														
7e	ae	f7	cf	fa														
15	d2	15	4f	fe														
16	a6	88	3c	17														

...

28	\oplus	a0	$=$	88
ae		fa		54
d2		fe		2c
a6		17		b1

Ключи раундов
формируются из
входного ключа
шифрования

02	04	08	10	20	40	80	1b	36
00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00

Rcon

Key Schedule

2b	28	ab	09	a0	88	23	2a	f2	7a	23	73	3d	47	1e	6d
7e	ae	f7	cf	fa	54	a3	6c	c2	96	a3	59	80	16	23	7a
15	d2	15	4f	fe	2c	39	76	95	b9	39	f6	47	fe	7e	88
16	a6	88	3c	17	b1	39	05	f2	43	39	7f	7d	3e	44	3b

Cipher Key

Round key 1

Round key 2

Round key 3

...

d0	c9	e1	b6
14	ee	3f	63
f9	25	0c	0c
a8	89	c8	a6

Round key 10

Узнать больше про AES



<http://aes.nksoff.ru>