

Проектные параметры ДК для ВЭПП-6

Корнелий Тодышев

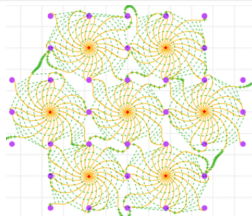
Октябрь 2025

Основные требования

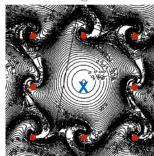
- Высокое импульсное разрешение
- Пространственное разрешение $\lesssim 100 \mu m$
- Время дрейфа 400 ns
- Минимально возможное количество вещества
- Достаточно высокое dE/dx разрешение
- Стоимость (простая конструкция, доступная электроника, достаточная гранулированность объёма и т.д.)

Газовые смеси	Пропорции	Rad. Length [м]	N_p [см ⁻¹]	$E = 1000 \text{ В/см}$		Эксп.
				v [см/μs]	$D_{ }$ [$\frac{\mu m}{\sqrt{cm}}$]	
He/ <i>i</i> C ₄ H ₁₀	80/20	807	21.2	2.8	142	BABAR
He/ <i>i</i> C ₄ H ₁₀	90/10	1313	12.7	2.3	162	KLOE
He/C ₃ H ₈	60/40	569	31	3.1	129	CLEOIII BESIII
He/C ₂ H ₆	50/50	686	22.9	3.5	135	BELLE BELLEII
He/CH ₄	80/20	3087	7	2.5	167	KLOE
Ar/C ₂ H ₆	50/50	178	34	5.3	133	CLEOII

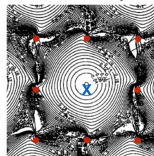
Изохроны в ячейках ДК Belle, CLEO и BaBar



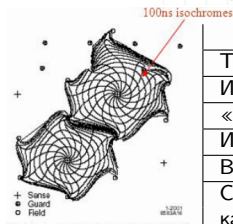
50-50% Argon-Ethane



60-40 Helium- Propane



Example from CLEO



Тип ячейки	Преимущество(+)/Недостаток(-)	
	Квадратная	Гексагональная
Изотропность E	—	+
«Зазоры»	—	+
Искажение $R(t)$	—	+
Возможность full stereo	+	—
Соотношение числа катодов к числу анодов	2.946 – 3.214 BELLEII-CLEOIII-BESIII	2.683 – 3.050 проект ДК СЧТФ -BaBar

$$\frac{\sigma_{p_t}}{p_t} = \sqrt{a^2 p_t^2 + (m.s.contribution)^2}$$

Т.к. $a \propto \sigma/\sqrt{N}$ кажется предпочтительней вариант с гексагональной ячейкой.

Основная идея

Минимизировать деформацию ячейки для создания более изотропной напряжённости электрического поля.

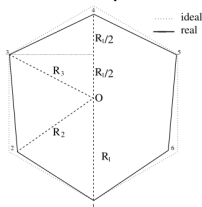
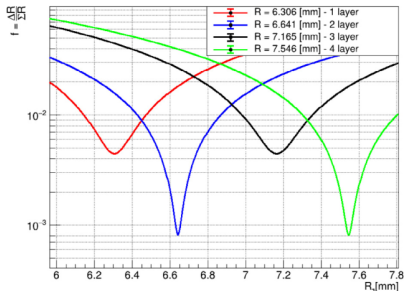


Fig. 2. Hexagonal cell scheme. Ideal hexagonal cell is drawn by dotted lines. Real quasi-hexagonal cell is drawn by solid lines.



$$f(R) = \frac{\Delta R}{\Sigma R}$$

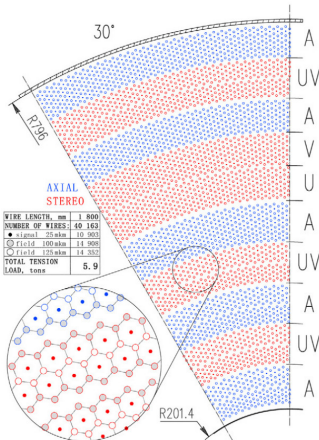
где $\Delta R =$

$$\sqrt{(R_2 - R_1)^2 + (R_3 - R_1)^2 + (R_3 - R_2)^2},$$

$\Sigma R = R_1 + R_2 + R_3$ и R_1 – параметр оптимизации.

- Были найдены оптимальная конфигурация проволок при заданном числе ячеек в каждом слое. размеры ячеек.
- Число ячеек выбиралось таким, что максимальное расстояние дрейфа около 7 мм.
- Разброс размера ячеек около 20 процентов, искажение за счёт деформации не превосходит 35 мкм.

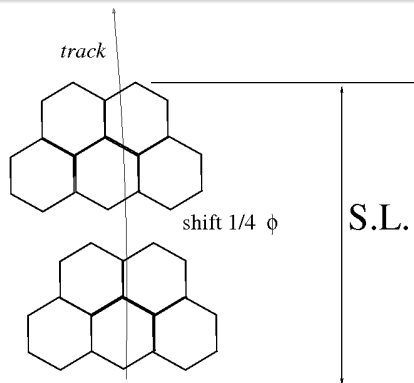
Проект ДК СЧТФ



SUPER LAYER NUMBER	NUMBER OF MONO-LAYERS	NUMBER OF CELLS IN MONOLAYER	NUMBER OF CELLS	STEREO ANGLE, mrad	CELL SIZE $r \pm \Delta r$, mm		RADIUS OF ANODE WIRE LAYER, mm
1	4	125	500	0	6.306	0.034	217.306
					6.644	0.007	227.100
					7.165	0.039	246.906
					7.549	0.009	258.035
2	4	157	628	+33.8	6.473	0.028	280.154
				-34.2	6.747	0.006	290.136
				7.182	0.031	310.863	
				7.486	0.007	321.938	
3	4	189	756	0	6.564	0.024	341.986
					6.794	0.005	352.060
					7.140	0.026	371.992
					7.388	0.005	382.950
4	4	223	892	+48.9	6.603	0.020	405.941
				-49.3	6.799	0.004	416.040
				7.104	0.021	436.741	
				7.314	0.005	447.606	
5	5	255	1 275	0	6.651	0.018	467.570
					6.823	0.003	477.718
					6.968	0.001	488.097
					7.120	0.001	498.701
6	4	287	1 148	+63.1	7.274	0.001	509.535
					6.741	0.016	533.350
					6.895	0.004	543.615
					7.026	0.001	554.088
7	4	313	1 252	-63.4	7.161	0.001	564.762
					6.778	0.015	584.801
					6.919	0.003	595.108
					7.039	0.001	605.606
8	4	341	1 364	0	7.163	0.001	616.289
					6.768	0.014	636.220
					6.898	0.003	646.501
					7.007	0.001	656.957
9	4	371	1 484	+64.7	7.121	0.001	667.581
				-65.0	6.746	0.013	689.948
				6.865	0.003	700.185	
				7.041	0.013	720.090	
10	4	401	1 604	0	7.165	0.002	730.775
					6.791	0.012	750.730
					6.902	0.003	761.027
					6.995	0.001	771.472
TOTAL	41		10 903		7.091	0.001	782.061

NIM A,1009(2021) 165490 <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.165490>

Ряд других предложений



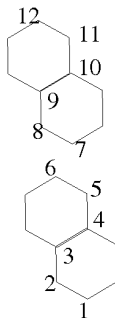
- 2+2 структура во внутренних суперслоях
более однородное пространственное разрешение
- Нечётное число ячеек в слое
уменьшает возможные систематические неопределённости при реконструкции двухчастичных событий (e^+e^- , $\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$)

Условие на диаметр проволочек

- Напряжённость поверхности катодных проволочек

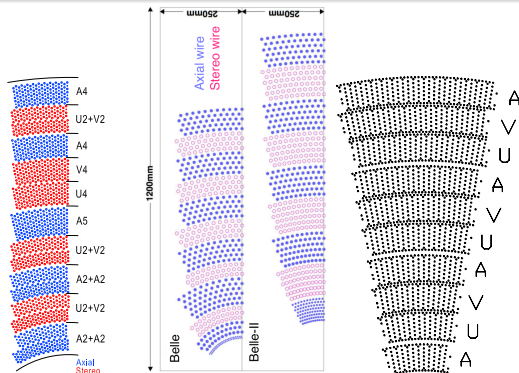
$$E_{surface} < 20 \text{ кВ/см}$$

	$U = 2.2 \text{ кВ}$	
$N_{S.W.}$	$D \text{ мкм} (E_{surface} < 20 \text{ кВ/см})$	Допустимый $D \text{ мкм}$
1	52	100
2	88	100
3	129	125
4	130	125
5	99	100
6	73	100
7	52	100
8	97	100
9	125	125
10	124	125
11	82	100
12	48	100



- Использовать два типа катодных проволочек для уменьшения многократного рассеяния.

Оптимизация стерео углов в проекте ДК СЧТФ



DC Project optimization results		BELLE II		BaBar		BES III	
R[mm]	α_{stereo} [mrad]	R[mm]	α_{stereo} [mrad]	R[mm]	α_{stereo} [mrad]	R[mm]	α_{stereo} [mrad]
280.154	+33.8	257.0	+45.4			327.5	-30.68
290.136	-34.2	348.0	+45.8	318.5	+44.9	334.1	-31.31
405.941	+48.9			370.5	-52.3	402.1	+31.41
416.040	-49.3	476.9	-55.3	480.8	+55.6	415.5	+32.46
533.350	+63.1	566.9	-64.3	533.2	-62.8	531.7	-42.06
584.801	-63.4					583.0	+40.37
689.948	+64.7	695.3	+63.1	643.0	+65.0	676.3	-41.62
730.775	-65.0	785.3	+70.0	695.2	-72.1		

Измерение пространственного разрешения

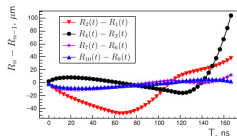


Fig. 14. $R(t)$ differences of two successive iterations in the experiment. Index shows the number of iteration.

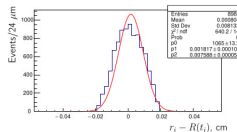


Fig. 15. Typical spectrum of $(r_i - R(t_i))$ combined over all angular sectors. Here R_0 is a normalization constant, p_1 — mean value and p_2 — standard deviation of the Gaussian function.

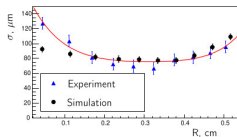


Fig. 16. Comparison of simulated and experimental spatial resolutions. The fit by the function from Eq. (6) is shown.

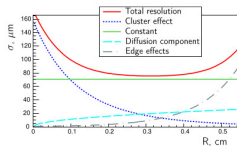


Fig. 17. Contribution of each component to the spatial resolution.

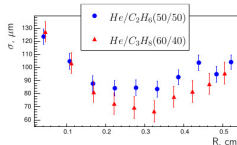


Fig. 18. Comparison of spatial resolutions.

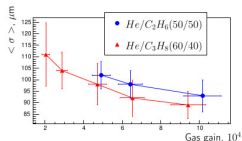


Fig. 19. Average spatial resolutions.

NIM A,1064(2024) 169419

<https://doi.org/10.1016/j.nima.2024.169419>

Проект ДК для КМД-3

SUPERLAYER NUMBER	NUMBER OF LAYERS	NUMBER OF CELLS IN LAYER	NUMBER OF CELLS IN SUPERLAYER	STEREO ANGLE, mrad	CELL SIZE $r \pm \Delta r$, mm		RADIUS OF ANODE WIRE LAYER, mm
1	2	19	38	0	6.000	0.175	31.543
					8.642	0.038	43.185
2	2	37	74	0	6.279	0.094	64.106
					7.516	0.019	74.762
3	2	53	106	+45	6.529	0.068	95.422
					7.391	0.014	106.078
4	2	69	138	-48	6.667	0.054	126.848
					7.330	0.011	137.512
5	3	87	261	0	6.562	0.042	157.404
					7.072	0.008	167.757
					7.534	0.001	178.827
6	2	109	218	+99	6.683	0.034	200.831
					7.093	0.007	211.266
7	2	125	250	-101	6.750	0.030	232.613
					7.109	0.006	243.097
8	3	141	423	0	6.772	0.027	263.236
					7.091	0.005	273.713
					7.370	0.001	284.629
TOTAL	18		1508				

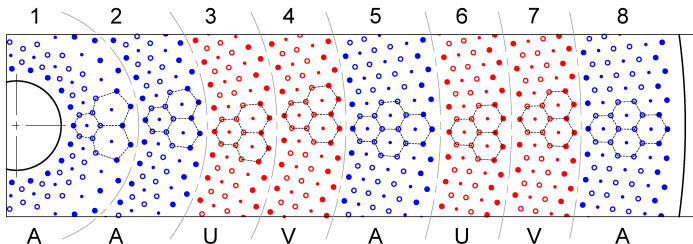
The CMD new drift chamber geometry

INNER DIAMETER, mm	40
OUTER DIAMETER, mm	600
WIRE LENGTH, mm	440
ENDPLATE THICKNESS, mm	7
NUMBER OF WIRES:	5 804
● SIGNAL 25 μ m	1 508
● FIELD 100 μ m	1 920
○ FIELD 125 μ m	2 376
TOTAL TENSION LOAD, kg	882
ENDPLATE FLEXURE (MAX) [*] , mm	3.1

^{*}ENDPLATE MATERIAL:
NIKAM M55J quasi-isotropic carbon fiber with
Young's modulus $E = 168$ GPa

A – axial

U, V – stereo



Полный импульс $p = \frac{p_{\perp}}{\sin \theta}$.

$$\left(\frac{\sigma_p}{p}\right)^2 = a^2 p_{\perp}^2 + b^2 + \operatorname{ctg}^2 \theta \times \sigma_{\theta}^2 \quad (1)$$

Рассмотрим сначала вариант, когда внутренний радиус ДК равен 15 см, внешний 62 см.

Радиальный размер слоя 15.1 ± 0.4 мм примерное число слоёв равно 31 ± 1 .

Согласно расчётам $a = 0.0043 \pm 0.0003$, $b = 0.0032 \pm 0.0002$.

При угле $\theta = 90^\circ$ импульсное разрешение составит $0.54 \pm 0.04\%$.

При условии $B = 1.5$ Т и пространственном разрешении $\sigma = 100$ мкм.

Разрешение по dE/dx $8.3 \pm 0.3\%$.

Варианты проволоочной структуры

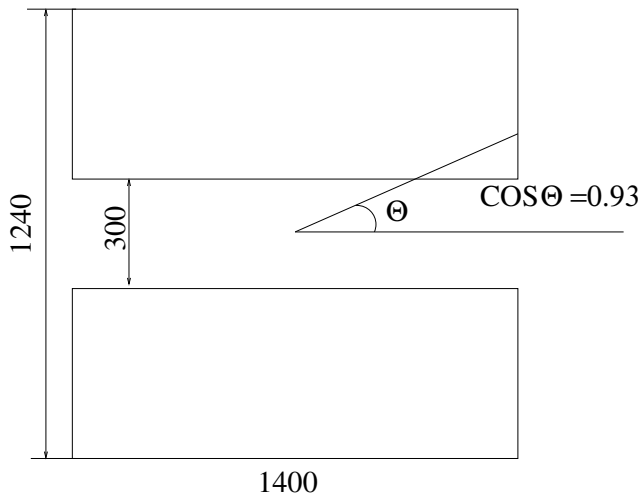
31	32	31	31
A 5	A 4		
U V 3+3	U V 3+3	A 5	A 5
A 4	U V 3+3	U V 4+4	U V 4+4
U V 2+2	A 4	A 3+3	A 3+3
A 2+2	U V 2+2	U V 2+2	U V 2+2
U V 2+2	A 2+2	A 2+2	U V 2+2
A 2+2	U V 2+2	U V 2+2	A 2+2

Сравнение с BESIII

Table 1. Configuration of the sense layers of the BESIII drift chamber

Layer	Number of cells in each layer	Type	Location
1 - 4	40, 44, 48, 56	Stereo (-)	inner section
5 - 8	64, 72, 80, 80	Stereo (+)	inner section
9 - 10	76	Axial	1st step
11 - 12	88	Axial	2nd step
13 - 14	100	Axial	3th step
15 - 16	112	Axial	4th step
17 - 18	128	Axial	5th step
19 - 20	140	Axial	6th step
21 - 24	160	Stereo (-)	outer section
25 - 28	176	Stereo (+)	outer section
29 - 32	208	Stereo (-)	outer section
33 - 36	240	Stereo (+)	outer section
37 - 40	256	Axial	outer section
41 - 43	288	Axial	outer section

Общий вид



"Leading edge timing"

$$\sigma_{diffusion} = \frac{\sqrt{\frac{\pi^2}{12}} \sigma_0}{\log N} \simeq \frac{0.91 \sigma_0}{\log N}$$

и "Center gravity timing"

$$\sigma_{diffusion} = \frac{\sigma_0}{\sqrt{N}}$$

Где N – число электронов достигающих анодную проволочку в разрешающее время дискриминатора.

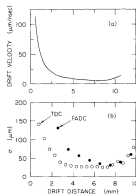


Fig. 32. Results from the Aachen University test [46]. (a) Drift velocity as a function of distance between the anode and the track. (b) Measured resolution using the TDC and FADC techniques.

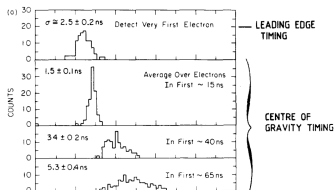


Fig. 27. Simulated timing resolution using a hypothetical infinitely fast electronics capable of digitizing every arriving electron in the jet chamber with 4 mm wire spacing, 90% Ar + 10% C₄H₁₀ at 1 atm, $B = 10$ kG and 7.5 mm impact parameter [9].

Из работы J.Vavra "High resolution drift chamber"

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900286910624?via%3Dihub>

Информация по конструкционным материалам

Элемент ДК	Толщина вещества в ед. $X_0\%$
<i>He/C₃H₈</i> (60/40)	0.083
Катодная алюминиевая проволока 125+100 мкм + золочение поверхности 0.5 мкм	0.082 + 0.038
Анодная вольфрамовая проволока 25 мкм + золочение поверхности 0.5	0.039 + 0.003
Сумма (внутри ДК)	0.245 ± 0.003
Внутренняя обечайка	0.32 ± 0.04
Внешняя обечайка	1.96 ± 0.28
Торцевая пластина	4.17 ± 0.60

Спасибо за внимание!

BACKUP