

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-87-245

**Д.А.Абдушукуров*, Ю.В.Заневский,
В.Д.Пешехонов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ
МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ЛАВИННЫХ КАМЕР**

Направлено в журнал "Приборы и
техника эксперимента"

* Физико-технический институт
АН ТаджССР, Душанбе

1987

1. Введение

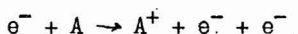
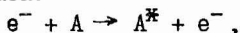
Многоступенчатые лавинные камеры (МСЛК)^{/1,2/} нашли применение для решения ряда задач в физике высоких энергий и прикладных исследованиях. В настоящее время показана возможность использования их в качестве управляемых детекторов повышенной нагрузочности^{/3/}, детекторов черенковского излучения^{/4/}, свободных от параллакса детекторов γ и характеристического излучения^{/5/} и в качестве детекторов для радиографических исследований биологических образцов^{/6,7,8/}.

Однако ряд сложностей, встречающихся в процессе наладки и эксплуатации детекторов, несколько сдерживают широкое внедрение МСЛК. Настоящая работа посвящена исследованию влияния газовых смесей и процентного содержания добавок на режимы работы МСЛК. Рассмотрены меры по улучшению стабильности работы детекторов и повышению эксплуатационных качеств.

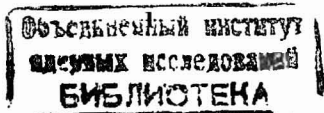
2. Принцип действия МСЛК

Процесс газового усиления в МСЛК разбит на два этапа, предварительного усиления за объемом многопроволочной пропорциональной камеры (МПК) и перевода образованной лавины в МПК для дальнейшего усиления, что предполагает наличие плоскопараллельного промежутка с высокой напряженностью электрического поля. Подобное решение было уже использовано ранее в работах по гибридным камерам^{/9/}.

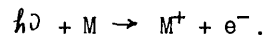
Рассмотрим процесс усиления в газовом объеме при высоких напряженностях электрического поля. Увеличение напряженности электрического поля до нескольких киловольт/см приводит к тому, что электроны могут приобрести энергию, достаточную для упругих и неупругих взаимодействий. При соударениях с электронами возможна ионизация или возбуждение атомов газа:



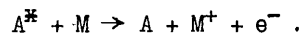
В таблице I приведены потенциалы ионизации и возбуждения благородных газов, указаны также длины волн излучения при снятии возбуждения^{/10/}.



При добавлении к благородным газам органических добавок, потенциалы ионизации которых ниже уровней возбуждения благородных газов, возможна ионизация атомов газовой добавки фотонами, испускаемыми возбужденными атомами благородного газа:



Ионизация атомов добавки осуществляется также за счет эффекта Пеннинга. Из долгоживущих уровней, образуемых при неупругих соударениях электронов с атомами, переход в основное состояние осуществляется путем соударений с атомами добавки. Если потенциал ионизации атомов добавки ниже метастабильного уровня, происходит ионизация атомов добавки:



В таблице 2 приведены основные газовые смеси, используемые при работе с многоступенчатыми лавинными камерами, даны потенциалы ионизации газовых добавок.

Смеси на основе гелия и неона в основном применяются для детектирования фотонов черенковского излучения в условиях повышенного фона релятивистских частиц. Смеси на основе аргона применяются для регистрации частиц с минимальной ионизирующей способностью. Ксеноновые смеси могут применяться для регистрации γ - и рентгеновского излучения. В работах [14, 16] рассмотрена конструкция и особенности работы МСЛК на газовых смесях аргона с добавками ацетона, бензола, пропана и п-гептана.

3. Влияние концентрации органических добавок на характеристики МСЛК

3.1. Коэффициент газового усиления

Как было сказано ранее, в МСЛК процесс усиления разбит на два этапа. В плоскопараллельном промежутке предварительного усиления развивается электронно-фотонная лавина, которая через дрейфовый промежуток переводится в МПК для дальнейшего усиления. Коэффициент газового усиления МСЛК представляется выражением

$$G = k \cdot G_{пр} \cdot G_{мпк},$$

где $G_{пр}$ и $G_{мпк}$ — коэффициенты газового усиления предусилительного промежутка и МПК. Коэффициент k характеризует эффективность перевода лавины из области с высокой напряженностью электрического поля (пре-

дусилительного промежутка) в область с низкой напряженностью (дрейфовый промежуток) и определяется отношением $E_{др}/E$ пр.

Исследования влияния концентрации добавки на коэффициент предварительного усиления МСЛК были проведены на газовой смеси ацетон + аргон. На рис. 1 приведены значения зависимости коэффициента предусиления МСЛК (G пр.) от величины прилагаемого напряжения (U пр.) для различных значений концентрации ацетона.

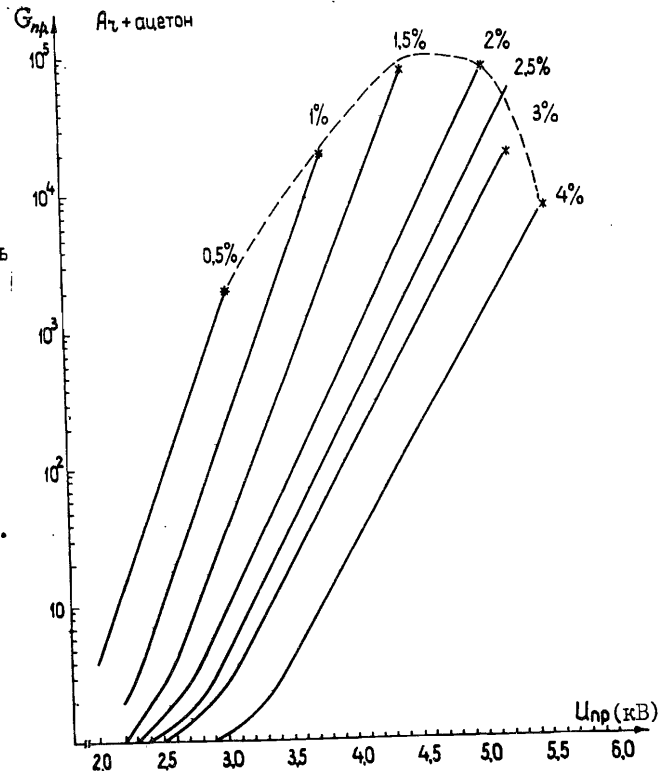


Рис. 1. Зависимость коэффициента предварительного усиления МСЛК от напряжения на предусилительном промежутке для различных значений концентрации ацетона в аргоне.

Из рисунка видно, что с увеличением концентрации ацетона уменьшается коэффициент предварительного усиления, при этом зависимость усиления от концентрации добавки хорошо описывается следующим выражением:

$$G(P) = 10^{(h \cdot P_i)},$$

где P_i — концентрация добавки в %, h — коэффициент, зависящий от P_i , для диапазона 0,5 + 3% равен 2. Так, изменение P_i в пределах $\pm 0,5\%$ вызывает изменение в ± 10 раз.

Пунктирной кривой обозначена граница искрения в предусилительном промежутке. Наиболее оптимальной для достижения максимального коэффициента усиления является концентрация 1,5 + 2%.

3.2. Временные характеристики МСЛК

Влияние концентрации добавки на временные характеристики МСЛК было проверено с помощью β - источника ^{106}Ru .

На рис.2 приведены зависимости временного разрешения детектора для смеси аргон + ацетон при различных концентрациях ацетона.

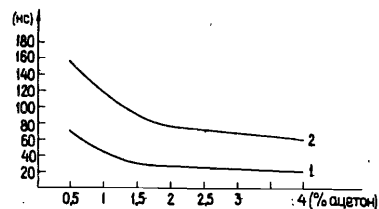
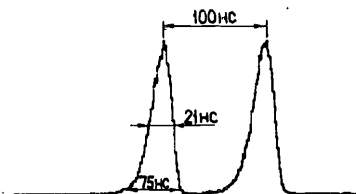


Рис.2 Зависимость временного разрешения МСЛК от концентрации ацетона в смеси. Кривая 1 характеризует полное разрешение на половине высоты, кривая 2 показывает временное разрешение на уровне 97% эффективности регистрации частиц в минимальной ионизирующей способности.

Из рисунка видно, что с увеличением концентрации добавки улучшается временное разрешение МСЛК, которое для концентрации 4% составляет 21 нс (ШПВ) и 75 нс на уровне 97% эффективности регистрации.

Рис.3 Типичное временное разрешение МСЛК для смеси $\text{Ar} + 4\%$ ацетона.



3.3. Влияние концентрации добавки на энергетическое разрешение и протяженность плато счетной характеристики

Энергетическое разрешение МСЛК также зависит от концентрации добавки. Зависимость более плавная и для концентрации 2 + 4% практически не изменяется. На рис.4 показано энергетическое разрешение МСЛК для смеси аргон-ацетон, снятое для линии 5,9 кэВ (^{55}Fe).

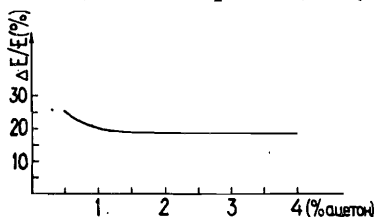
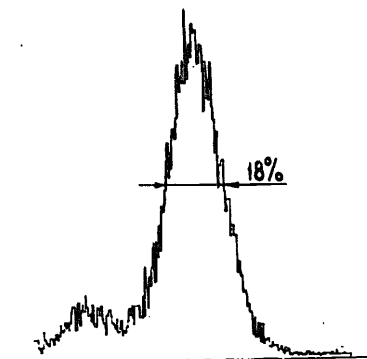


Рис.4. Энергетическое разрешение МСЛК (ШПВ) в зависимости от концентрации ацетона. (Энергия регистрируемых квантов - 5,9 кэВ).

Рис.5 Типичное энергетическое разрешение МСЛК для источника ^{55}Fe .



На рис.5 показано типичное энергетическое разрешение МСЛК для вышеуказанного источника. Энергетическое разрешение снималось при использовании "толстого" (10 мм) конверсионного промежутка. Слева от основного пика виден пик вылета флуоресцентных фотонов из объема МСЛК.

Проведены исследования протяженности плато счетной характеристики для разных концентраций ацетона. Кривая 1 на рис.6 показывает напряжения на аноде МПК, соответствующие началу плато, для источника ^{55}Fe .

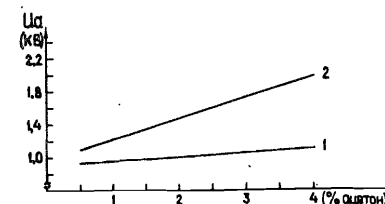


Рис.6 Протяженность плато счетной характеристики МСЛК для различных концентраций ацетона. Кривые 1 и 2 - соответственно начало и конец плато счетной характеристики МСЛК для источника ^{55}Fe .

Кривая 2 показывает напряжения МПК, соответствующие концу плато счетной характеристики. Из рисунка видно, что с увеличением концентрации добавки увеличивается протяженность плато, это увеличение в основном происходит за счет смещения конца плато. Так, протяженность плато составляет 900 В для концентрации ацетона, равной 4%.

4. Способы стабилизации режимов работы МСЛК

Из приведенных результатов видно, что режимы работы МСЛК сильно зависят от концентрации органических добавок. Для получения стабильного режима работы МСЛК необходимо стабилизировать концентрацию добавок применяемых органических соединений.

Одним из возможных вариантов стабилизации концентрации добавок является термостатирование колбы с жидкостью, через которую пропускается газ. Термостатирование может быть осуществлено при помощи термостатов либо при температуре тающего льда. Для обеспечения концентрации добавок в пределах $\pm 3\%$ необходимо часть газа пропускать через колбу с жидкостью. Это, в свою очередь, диктует необходимость стабилизации скоростей продува при помощи высокостабильных редукторов. Однако даже при использовании подобных редукторов возникает необходимость тщательно выставлять и контролировать газовые продувы по ротаметрам.

Для дальнейшего повышения стабильности работы МСЛК и улучшения эксплуатационных качеств при работе с ними, необходимо использовать новые газовые смеси.

Наиболее удобными в эксплуатации являются органические вещества с низким давлением насыщенных паров, которые при пропускании через них всего аргона при температуре (0°C) позволяют получить концентрацию добавки в диапазоне $\pm 3\%$. Такими добавками являются *n*-гептан и изопропиловый спирт. Так, при пропускании всего аргона, при температуре тающего льда через *n*-гептан и изопропиловый спирт их концентрация соответственно составляет $\pm 1,5$ и $\pm 1,1\%$.

Рабочие характеристики МСЛК на этих смесях подобны характеристикам, получаемым на смесях аргон + ацетон. В работе¹⁶ описана МСЛК для радиографических исследований биологических объектов, работающая на смеси *n*-гептан. В процессе длительной эксплуатации МСЛК (более чем 2 года) получена высокая стабильность ее работы и хорошая воспроизводимость получаемых результатов.

Другими не менее интересными газовыми смесями для работы МСЛК являются газовые смеси на основе неона, испускающего более энергичные фотоны при переходе в основное состояние (табл. I). Энергия фотонов достаточна для ионизации ряда органических добавок, в частности метана.

Газовая смесь *Ne* + метан удобна при эксплуатации, так как позволяет приготавливать бинарные смеси в баллонах высокого давления. Проведены исследования характеристик МСЛК на этой газовой смеси. Смесь позволяет получать достаточно высокий коэффициент предварительного усиления $G_{\text{пр}} > 10^4$. Измерена эффективность МСЛК на смеси *Ne* + метан для релятивистских частиц. На рис. 7 показана эффективность регистрации β -частиц источника ^{106}Ru для концентрации метана. (Кривая I) $2,8\%$ и для концентрации метана $2,1\%$. Из рисунка видно, что МСЛК при работе на смеси *Ne* + метан не обладает достаточной эффективностью регистрации частиц с минимальной ионизирующей способностью.

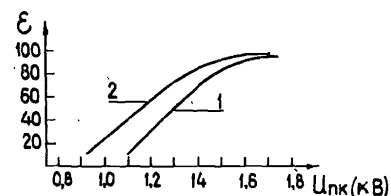


Рис. 7 Эффективность регистрации релятивистских частиц. Кривые 1 и 2 соответственно для смесей *Ne* + $2,8\%$ метана и *Ne* + $2,1\%$ метана.

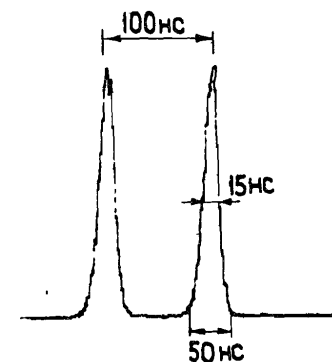


Рис. 8 Временное разрешение МСЛК для смеси *Ne* + $2,2\%$ метана.

На рис. 8 показано временное разрешение МСЛК на смеси *Ne* + $2,2\%$ метана. Так, временное разрешение составляет 15 нс (ШИП) и 50 нс на уровне 97% эффективности регистрации.

Плато эффективности регистрации заряженных частиц может быть увеличено при добавлении к неоновым смесям аргона. Так, протяженность плато по эффективности возрастает на 150 В для газовых смесей *Ne* + $(10 + 15\%) \text{Ar} + 3\% \text{CH}_4$. При этом улучшается стабильность работы МСЛК.

5. Заключение

Проведены исследования влияния концентрации органических добавок на характеристики МСЛК. Показано, что практически все режимы МСЛК зависят от изменения концентрации добавок. Выведена эмпирическая зависимость величины коэффициента усиления МСЛК от концентрации добавок.

Рассмотрены меры по повышению стабильности режимов работы МСЛК. Предложены новые газовые смеси, способствующие повышению стабильности работы. Смесь аргон + *n*-гептан может быть применена для детектирования частиц с минимальной ионизирующей способностью и мягкого γ - и рентгеновского излучения. Эта смесь перспективна для проведения радиографических исследований медико-биологических

объектов, меченных β и низкоэнергетичными γ - излучателями. Смеси на основе неона могут широко применяться для детектирования низкоэнергетичных электронов в условиях повышенного γ -фона, например, в качестве рабочего газа для детекторов нейтронов с использованием твердотельных коверторов из гадолиния.

В заключение авторы выражают благодарность С.А.Мовчану, Т.Нетушилу, Л.П.Смыкову и Чан Дык Тханю за полезные обсуждения.

Таблица I

Потенциалы ионизации и возбуждения благородных газов /10/

| Газ | Атомный номер | Потенциал ионизации (эВ) | Основные уровни возбуждения (эВ) | Длины волн излучения (А°) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| He | 2 | 24,48 | 20,9 | 584 |
| | | | 19,8 * | 3888 5875 |
| Ne | 10 | 21,56 | 16,68 | 734 |
| | | | 16,53 * | 743 |
| | | | 16,62 * | 5400 |
| | | | | 5832 5852 6402 |
| Ar | 18 | 15,76 | 11,56 | 1048 |
| | | | 11,49 * | 1066 |
| | | | 11,66 * | 6965 |
| | | | | 7067 |
| | | | | 7503 8115 |
| Kr | 36 | 14,00 | 9,98 | 1236 |
| | | | 9,86 * | 5570 |
| | | | 10,51 * | 5870 |
| Xe | 54 | 12,13 | 8,39 | 1296 |
| | | | 8,28 * | 1470 |
| | | | 10,51 * | 4501 |
| | | | | 4624 4671 |

* - метастабильные уровни

Таблица 2

Газовые смеси, используемые при работе МСЛК

| Основной газ | Дополнит. газ | Ионизирующая добавка | Потенциал ионизации (эВ) | Литература | |
|--------------|---------------|----------------------|--------------------------|---------------|-------|
| Гелий (He) | - | ацетон | 9,69 | II | |
| | - | TEA | 7,5 | I2 | |
| | - | метан | - " - | I2 | |
| | - | неон | ацетон | 9,69 | I3 |
| | - | - " - | бензол | 9,24 | I3 |
| | - | - " - | TEA | 7,5 | I3 |
| Неон (Ne) | - | ацетон | 9,69 | II | |
| | - | TEA | 7,5 | II | |
| | - | метан | 12,6 | данная работа | |
| | - | аргон | метан | - " - | - " - |
| Аргон (Ar) | - | этан | 11,5 | I, I4 | |
| | - | Этанол | 10,49 | I | |
| | - | ацетон | 9,69 | I, I4 | |
| | - | бензол | 9,24 | I, I4 | |
| | - | TEA | 7,5 | I | |
| | - | пропан | 11,1 | I4 | |
| | - | толуол | 8,8 | I4 | |
| | - | n-гептан | 10,1 | данная работа | |
| | - | изопропиловый спирт | 10,2 | - " - | |
| | - | метан | TEA | 7,5 | I5 |
| Ксенон (Xe) | - | TMAE | 5,36 | I5 | |
| | - | TMBI | 5,41 | I5 | |
| | - | TMAV | 5,6 | I5 | |
| | - | TMPD | 6,2 | I5 | |
| | - | TEA | 7,5 | I5 | |

TMAE - тетраакис (диметиламино) этилен,
 TMBI - 1,1^I; 3,3^I - тетраметил - 2,2^I - бимидазолидинулидин,
 TMAV - 1,1; 4,4 - тетраакис (диметиламино) бутадиев,
 TMPD - N, N, N⁴, N¹, - тетраметил - n - феноленедиамин,
 TEA - триэтиламин (C₂H₅)₃ N.

Л и т е р а т у р а

1. G.Charpak, F.Sauli. Phys. Letters, 78B, No.4, 1978, p.523.
2. A.Breskin, G.Charpak, S.Majewski et al. Nucl.Instr. and Meth., 161, 1979, p.19.
3. A.Breskin, G.Charpak, S.Majewski et al. CERN-EP/80-74, 1980.
4. G.Charpak, S.Majewski, G.Mellhard et al. Nucl. Instr. and Meth., 164, 1979, p.419.
5. A.Breskin, G.Charpak, J.C.Santiard. CERN-EP/81-106, 1981.
6. D.A.Abdushukurov, G.G.Abdurashidova, Tran Duc Thanh et al. Nucl. Instr. and Meth., A238, 1985, p.119.
7. Г.Г.Абдурашидова, Д.А.Абдушукуров, М.С.Аксентьева и др. Краткие сообщения ОИЯИ, № 9-85, Дубна, 1985, I9.
8. Д.А.Абдушукуров, Е.В.Александров, Ю.В.Заневский и др. ОИЯИ, I8-85-39I, Дубна, 1985.
9. J.Ficher, S.Shibata. Brookhaven Report, BNL 14899, 1970.
10. P.Rice-Evans. "Spark, Streamer, Proportional and Drift Chambers", The Richelieu Press. London, 1974.
11. R.S.Gilmore, W.M.Lavender, D.W.G.S.Leith et al. IEEE Trans. on Nucl. Sci., v.NS-28, No.1, 1981.
12. G.Coutrakon, M.Cribier, J.R.Hubbard et al. FN-351, FNAL, 1981.
13. G.Charpak, S.Majewski, G.Melchart et al. Nucl. Instr. and Meth., 164, 1979, p.419.
14. Д.А.Абдушукуров, Ю.В.Заневский, С.А.Мовчан и др. ОИЯИ, I3-82-2I6, Дубна, 1982.
15. D.F.Anderson. Nucl. Instr. and Meth., 178, 1980, p.125.
16. Д.А.Абдушукуров, Г.Г.Абдурашидова, Ю.В.Заневский и др. ОИЯИ, I8-84-I82, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 апреля 1987 года.

Абдушукуров Д.А., Заневский Ю.В., 13-87-245
Пешехонов В.Д.

Исследование влияния состава газовых смесей
на характеристики многоступенчатых лавинных камер

Проведены исследования влияния концентрации органических добавок на режимы работы многоступенчатых лавинных камер /МСПК/. Выведена эмпирическая зависимость газового усиления МСПК от концентрации добавок. Рассмотрены меры по повышению стабильности режимов работы МСПК. Предложены газовые смеси аргон + n-гептан, неон + метан и неон + аргон + метан, способствующие улучшению эксплуатационных качеств МСПК.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод Л.Н.Барабаш

Abdushukurov D.A., Zanevsky Yu.V. 13-87-245
Peshekhonov V.D.

Study of an Influence of the Gas Mixture
Composition on the Multistep Avalanche
Chambers Characteristics

The influence of the concentration of organic quenchers on the operation of multistep avalanche chambers /MSAC/ has been studied. An empirical dependence of the gas amplification factor of MSAC on the quencher concentration has been derived. Measures are considered to increase the stability of the MSAC operation. To improve the MSAC operation, argon + n-heptane, neon + methane and neon + argon + methane mixtures are suggested.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.
Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987