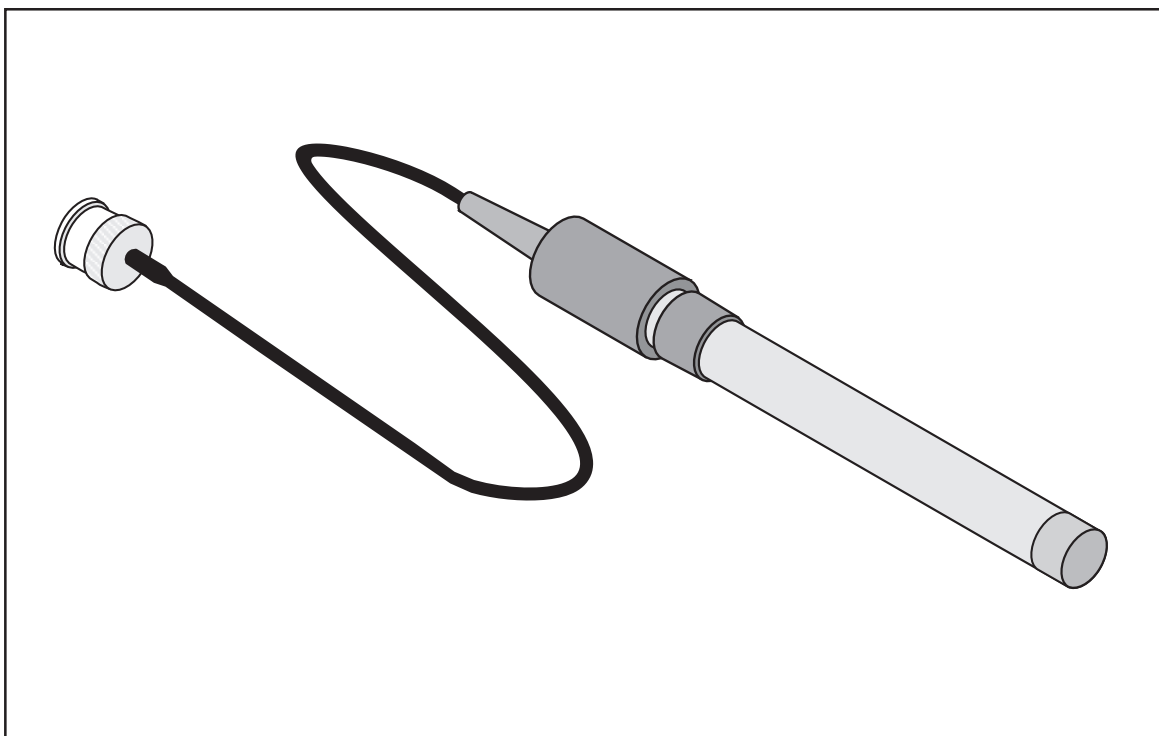


**Руководство пользователя  
и Инструкция по проведению  
эксперимента для  
модели CI-6733  
производства PASCO scientific**

012-06614A  
9/97

## **КАЛИЙ-СЕЛЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОД**



© 1997 PASCO scientific

\$7,50



**При работе с химикатами  
всегда используйте защиту  
для глаз и перчатки.**

# Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>1</b>
<b>Теория .....</b>	<b>1</b>
<b>Оборудование .....</b>	<b>2</b>
В комплекте .....	2
Дополнительно требуется.....	2
<b>Необходимые растворы .....</b>	<b>2</b>
<b>Общая подготовка.....</b>	<b>3</b>
Подготовка электрода.....	3
Проверка крутизны электродной функции с помощью <i>Science Workshop</i> .....	3
<b>Измерение .....</b>	<b>4</b>
Указания по измерению .....	4
Требования к пробам.....	4
Единицы измерения.....	5
<b>Порядок действий при измерении.....</b>	<b>5</b>
Прямое измерение.....	5
Определение низких значений концентраций калия .....	6
<b>Характеристики электродов .....</b>	<b>7</b>
Воспроизводимость .....	7
Ионы, создающие помехи .....	7
Влияние температуры.....	8
Отклик электрода .....	8
Пределы обнаружения.....	8
Влияние pH.....	9
<b>Обслуживание .....</b>	<b>9</b>
Хранение электрода .....	9
<b>Спецификации .....</b>	<b>9</b>
<b>Руководство по разрешению проблем .....</b>	<b>10</b>
Электрод.....	10
Эталонные растворы и реагенты .....	10
Проба .....	10
Техника проведения измерений.....	10
<b>Указания по разрешению проблем .....</b>	<b>11</b>
<b>Техническая поддержка.....</b>	<b>13</b>

# Авторское право, гарантия и возврат оборудования

Данное руководство может быть скопировано в соответствии с ограничениями, накладываемыми авторскими правами, указанными ниже.

## Уведомление об авторских правах

Руководство 012-06614A PASCO scientific защищено авторскими правами. Тем не менее, некоммерческим образовательным учреждениям разрешается воспроизводить любую часть данного руководства пользователя калий-селективного электрода только для использования в лабораториях и учебных классах, но не для продажи. Воспроизведение в любых других обстоятельствах без предварительного разрешения компании PASCO scientific запрещается.

## Ограниченная гарантия

PASCO scientific гарантирует, что дефекты материалов и изготовления данного продукта не будут выявлены в течение одного года со дня поставки заказчику. PASCO отремонтирует или заменит по своему усмотрению любую часть продукта, которая считается дефектной (дефект материала или изготовления). Данная гарантия не распространяется на повреждения изделия, вызванные неправильным использованием. Определение того, является ли отказ продукта результатом производственного дефекта или неправильного использования заказчиком, должно проводиться исключительно PASCO scientific. Ответственность за возврат оборудования на гарантийный ремонт лежит на заказчике. Оборудование должно быть надлежащим образом упаковано (чтобы предотвратить повреждение) и выслано (с предоплатой стоимости доставки). (Повреждение, вызванное неправильной упаковкой оборудования при обратной отправке, не будет покрыто за счет гарантии). Затраты на транспортировку при возврате оборудования после ремонта будут покрыты за счет PASCO scientific.

## Сведения об авторах

Автор: Питер Бойл

Редактор: Стив Миллер

## Возврат оборудования

Если по какой-либо причине продукт необходимо вернуть PASCO scientific, уведомите PASCO scientific по почте, телефону или факсу ДО возврата оборудования. После уведомления будут быстро предоставлены разрешение на возврат и инструкции по доставке.

► **ПРИМЕЧАНИЕ: ОБОРУДОВАНИЕ НЕ БУДЕТ ПРИНЯТО К ВОЗВРАТУ БЕЗ РАЗРЕШЕНИЯ PASCO.**

При возвращении оборудования на ремонт все устройства должны быть упакованы должным образом. Перевозчик не несет ответственности за повреждения, причиной которых была ненадлежащая упаковка. Чтобы устройство не было повреждено при перевозке, соблюдайте следующие правила:

- ① Коробка, в которую продукт упаковывается для перевозки, должна быть достаточно прочной.
- ② Убедитесь, что между устройством и внутренней стенкой коробки по меньшей мере два дюйма упаковочного материала.
- ③ Убедитесь, что инструмент не соприкасается с коробкой из-за того, что упаковочный материал внутри коробки смещается и сжимается.

Адрес: PASCO scientific  
10101 Foothills Blvd.  
P.O. Box 619011  
Roseville, CA 95678-9011

Тел.: (916) 786-3800  
Факс: (916) 786-3292  
Email: techsupp@pasco.com  
Сайт: www.pasco.com

## Введение

Калий-селективный электрод производства компании PASCO используется для быстрых, простых, точных и экономичных измерений концентрации иона калия в водных растворах.

## Теория

Калий-селективный электрод состоит из электродного корпуса, в котором закреплен чувствительный модуль с ионным фильтром. В чувствительном модуле содержится жидкий внутренний заполняющий раствор, который находится в контакте с гелевой органофильной мембраной, содержащей калий-селективный фильтр.

Когда мембрана находится в контакте с раствором калия, на мембране образуется электродный потенциал. Значение этого электродного потенциала относительно постоянного потенциала электрода сравнения, измеренное с помощью усилителя ISE и интерфейса *Science Workshop*, зависит от уровня свободных ионов калия в растворе. Уровень ионов калия в зависимости от измеренного потенциала описывается уравнением Нернста:

$$E = E_0 + S \log X,$$

где

- $E$  = измеренный электродный потенциал,
- $E_0$  = потенциал электрода сравнения (константа),
- $S$  = крутизна электродной функции (~56 мВ на декаду),
- $X$  = уровень ионов калия в растворе

.Активность  $X$  представляет собой эффективную концентрацию ионов калия в растворе. В общую концентрацию ионов калия  $C_t$  входят связанные  $C_b$  и свободные  $C_f$  ионы калия. Калий-селективный электрод будет реагировать только на свободные ионы калия, концентрация которых равна:

$$C_f = C_t - C_b$$

Активность соотносится с концентрацией свободных ионов калия  $C_f$  через коэффициент активности  $\gamma$  следующим образом:

$$X = \gamma C_f$$

Коэффициенты активности меняются в зависимости от общей ионной силы  $I$ , определяемой как:

$$I = 1/2 \sum C_x Z_x^2,$$

где

- $C_x$  = концентрация иона  $X$
- $Z_x$  = заряд иона  $X$
- $\Sigma$  = сумма по всем типам присутствующих в растворе ионов.

Если ионная сила имеет постоянное, высокое значение по отношению к концентрации селективного иона, коэффициент активности  $\gamma$  является константой, и активность  $X$  прямо пропорциональна концентрации.

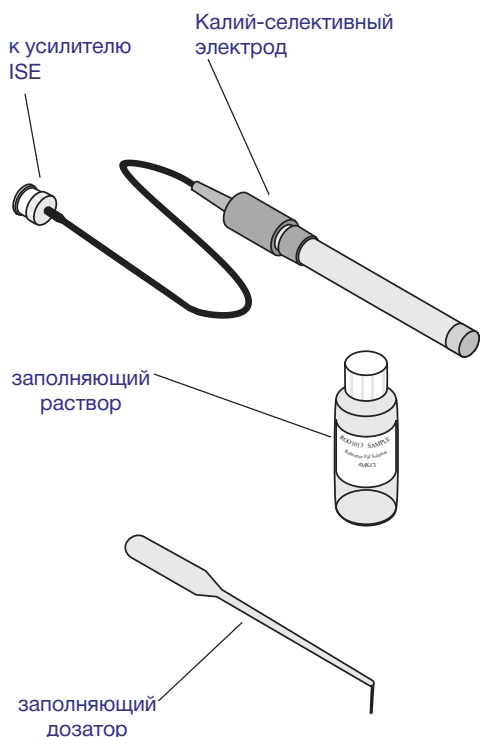
Чтобы установить постоянное и высокое значение фоновой ионной силы, в пробы и эталонные растворы добавляется регулятор ионной силы (ISA). Рекомендуемый раствор ISA для калия – хлорид натрия, NaCl. Другие растворы можно использовать в качестве регуляторов ионной силы, если присутствующие ионы не мешают реакции электрода на ионы калия.

Особенно тяжело проводить измерения в сильнокислых ( $\text{pH} = 0-2$ ) и сильнощелочных ( $\text{pH} = 12-14$ ) растворах. Высокая подвижность ионов водорода и гидроксида в пробах не позволяет нейтрализовать эффект диффузного потенциала ни при каких значениях концентрации раствора солевого мостика. Необходимо либо проводить калибровку электродов в диапазоне  $\text{pH}$ , аналогичном диапазону проб, либо использовать метод известных добавок для измерения концентрации ионов.

## Оборудование

### В комплекте:

- Калий-селективный электрод
- Заполняющий раствор калий-селективного электрода
- Дозатор для заливки раствора



**Рисунок 1**  
Комплектуемое оборудование

### Дополнительно требуется:

#### Необходимое оборудование

- PASCO CI-673 8 усилитель ISE (ион-селективного электрода)
- *Science Workshop 2.2.5* или более поздней версии
- Компьютерный интерфейс *Science Workshop* от компании PASCO
- Полулогарифмическая бумага с 4 циклами для построения калибровочных кривых (для измерений низких значений концентраций рекомендуется использовать линейную бумагу)
- пластина для магнитного перемешивания

## Необходимые растворы

Готовые растворы, перечисленные в этом разделе, могут быть приготовлены по описанию в этом тексте или заказаны непосредственно у PASCO. Растворы, доступные для заказа, и соответствующие цены представлены в «Прейскуранте на рабочие растворы ISE».

- Деионизированная или дистиллированная вода для приготовления пробы и эталонного раствора.
- *Регулятор ионной силы (ISA), 5 М NaCl*

Чтобы приготовить этот раствор, в мерную колбу вместимостью 1 л налейте до половины дистиллированную воду и добавьте 29,2 грамма хлорида натрия ЧДА ( $\text{NaCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Аккуратно взболтайте колбу, чтобы растворить сухое вещество. Налейте в колбу дистиллированную воду до отметки, закройте колпачком и переверните несколько раз, чтобы размешать раствор. На каждые 100 мл эталонного раствора или пробы добавляйте 2 мл ISA. Фоновая ионная сила итогового раствора будет равна 0,1 М. Этот раствор используется для регулировки  $\text{pH}$ -уровня и сохранения постоянной фоновой ионной силы в растворе.

- *Эталонный раствор калия, 0,1 М KCl*

Чтобы приготовить этот раствор, налейте в мерную колбу объемом 1 л дистиллированную воду до половины и добавьте 7,46 грамма хлорида калия ЧДА. Аккуратно взболтайте колбу, чтобы растворить сухое вещество. Налейте в колбу дистиллированную воду до отметки, закройте колпачком и переверните несколько раз, чтобы размешать раствор.

- *Эталонный раствор калия, 1000 ppm*

Чтобы приготовить этот раствор, в мерную колбу вместимостью 1 л налейте до половины дистиллированную воду и добавьте 256 мл эталонного раствора с концентрацией 0,1 М. Взболтайте колбу, чтобы растворить сухое вещество. Налейте в колбу дистиллированную воду до отметки, закройте колпачком и переверните несколько раз, чтобы тщательно размешать раствор.

## Общая подготовка

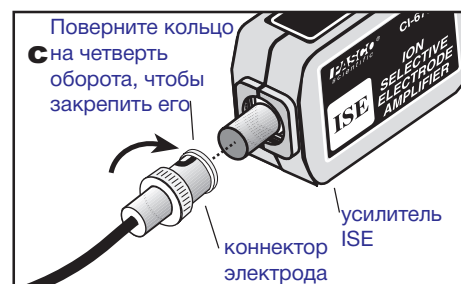
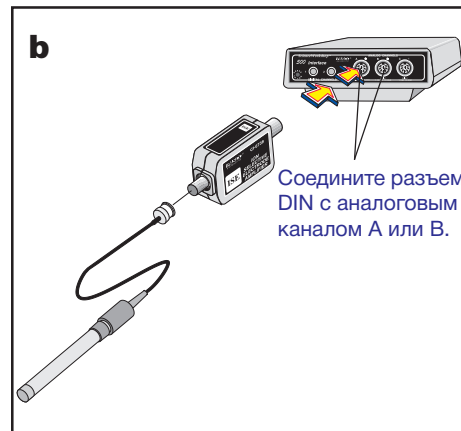
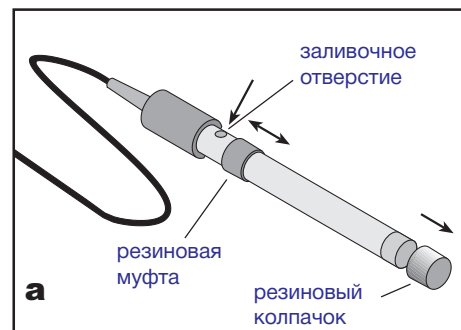
### Подготовка электрода

1. Удалите резиновый колпачок, закрывающий наконечник электрода. Отодвиньте резиновую муфту вниз, открыв заливочное отверстие калий-селективного электрода. Налейте в электрод поставляемый в комплекте заполняющий раствор до уровня заливочного отверстия. Сдвиньте резиновую муфту обратно на заливочное отверстие (Рисунок 2а).
2. Подключите калий-селективный электрод к усилителю ISE и соедините его разъем DIN с аналоговым каналом А или В компьютерного интерфейса PASCO (Рисунок 2б и 2в).

### Проверка крутизны электродной функции с помощью ScienceWorkshop (выполняйте проверку электродов каждый день)

1. В мензурку объемом 150 мл добавьте 100 мл дистиллированной воды и 2 мл раствора ISA. Поместите мензурку на магнитную мешалку и начните перемешивание на постоянной скорости. Запустите *Science Workshop*, в качестве датчика выберите ион-селективный электрод, откройте цифровой дисплей и начните отслеживание данных. Погрузите наконечник электрода в раствор.
2. С помощью дозатора добавьте в пробирку 1 мл эталонного раствора калия с концентрацией 0,1 М или 1000 ppm. Когда показания установятся, запишите значение напряжения, отображаемое на цифровом дисплее.
3. С помощью дозатора добавьте 10 мл того же эталонного раствора калия. Изменение потенциала составит  $56 \pm 2$  мВ при условии, что температура раствора 20–25 °С. Если разность потенциалов не лежит в этом диапазоне, см. раздел *Разрешение проблем*.

► **Примечание:** Крутизна определяется как разность потенциалов при изменении концентрации в 10 раз.



**Рисунок 2**

Настройка оборудования. **а:** заливка в электрод заполняющего раствора; **б, в:** подключение электрода к усилителю ISE и компьютерному интерфейсу

## Измерение

### Указания по измерению

- Для точного измерения все пробы и эталонные растворы должны быть одной температуры, желательно температуры окружающей среды. Небольшое изменение температуры может привести к значительной ошибке в измерениях.
- Для точного измерения необходимо постоянное, но не резкое перемешивание. Магнитные мешалки могут вырабатывать значительное количество тепла, способное изменить температуру раствора. Чтобы нейтрализовать этот эффект, поместите кусок изоляционного материала, например лист стирофома, между мешалкой и мензуркой.
- Между измерениями всегда ополаскивайте электрод дистиллированной водой и промокайте насухо. Используйте чистые салфетки, чтобы предотвратить загрязнение.
- Отклик электрода может быть медленным вследствие загрязнения поверхности калий-селективной мембраны электрода. Опустите наконечник электрода в дистиллированную воду на 5 минут, чтобы очистить мембрану. Ополосните мембрану и на 5 минут поместите в разбавленный эталонный раствор для восстановления производительности.
- Для проб с высоким значением ионной силы подготовьте эталонные растворы с составом, аналогичным составу пробы. Перед измерением разбавляйте концентрированные пробы (более 0,1 М).
- Для калибровки используйте свежие эталонные растворы.
- Добавляйте по 2 мл раствора ISA на каждые 100 мл пробы или эталонного раствора.
- Всегда проверяйте, чтобы после погружения в эталонный раствор или пробу на мембране не скапливались пузырьки воздуха. Аккуратно встряхните электрод, чтобы удалить пузырьки воздуха.

### Требования к пробам

- Все пробы должны быть водными и не должны содержать органических веществ, которые могут растворить эпоксидный корпус электрода и/или соединительное вещество, с помощью которого чувствительный кристалл крепится к корпусу электрода.
- Температура эталонных растворов и проб должна быть одинаковой и ниже 40 °С. Для нерегулярных измерений допускается температура до 50 °С. На каждый 1 °С разницы температуры ошибка крутизны кривой составит около 2%.
- Ионы, создающие помехи, представленные в Таблице 3, должны отсутствовать. Если они присутствуют, чтобы устранить их, используйте процедуру из разделов *Ионы, создающие помехи* и *Отклик электрода*.

### Единицы измерения

Концентрация калия измеряется в таких единицах, как ppm калия, моль на литр или в любых других удобных единицах измерения концентрации. В Таблице 1 представлены некоторые единицы измерения концентрации и коэффициенты пересчета.

**ТАБЛИЦА 1: Коэффициенты пересчета для единиц измерения концентрации**

$ppm K^{+1}$	$ppm KCl$	$моль/л K^{+1}$
3,91	7,46	$1,0 \times 10^{-4}$
39,1	74,6	$1,0 \times 10^{-3}$
391	746	$1,0 \times 10^{-2}$



## Порядок действий при измерении

### Прямое измерение

Прямое измерение – это простая процедура для измерения большого количества проб. Для каждой пробы достаточно снять по одному показанию. Необходимо отрегулировать ионную силу проб и эталонных растворов с помощью добавления раствора ISA. Температура пробы и эталонного раствора должна быть одинаковой.

### Прямое измерение концентрации калия

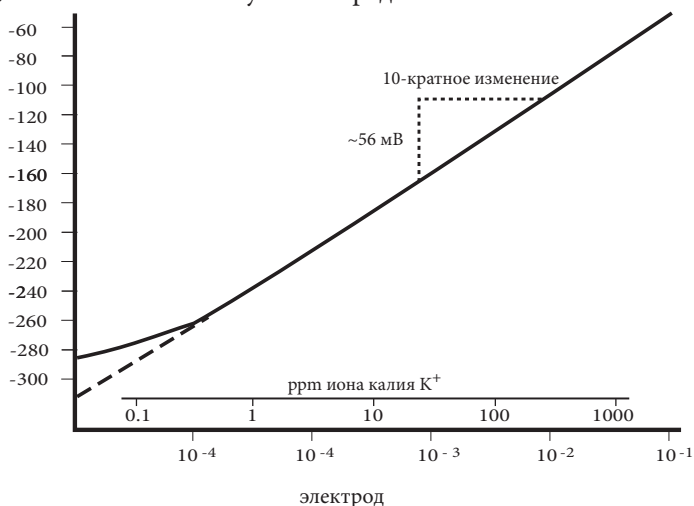
► **Примечание:** Калибровочная кривая строится на полулогарифмической бумаге. Строится зависимость измеренного электродного потенциала (линейная ось) от концентрации эталонного раствора (логарифмическая ось). Для построения линейного участка калибровочной кривой требуются только два эталонных раствора. Необходимо выбирать калибровочные эталонные растворы с концентрацией, близкой к ожидаемому значению пробы. Для построения нелинейного участка кривой необходимо выполнить дополнительные измерения. Данная процедура прямого измерения позволяет построить линейную часть кривой. Для построения нелинейной части кривой необходимо выполнить специальные измерения для низких значений концентрации.

1. С помощью последовательного разбавления приготовьте эталонные растворы с концентрациями  $10^{-2}$  М,  $10^{-3}$  М и  $10^{-4}$  М или 100 ppm, 10 ppm и 1 ppm из эталонных растворов с концентрацией 0,1 М или 1000 ppm. Если ионная сила проб выше 0,1 М, приготовьте эталонные растворы, аналогичные по составу пробам, и добавьте 2 мл раствора ISA на 100 мл эталонного раствора.
2. Поместите самый разбавленный раствор ( $10^{-4}$  М или 1 ppm) на магнитную мешалку и начните перемешивание на постоянной скорости. Убедившись, что Science Workshop работает, опустите наконечник электрода в раствор. Когда показания установятся, запишите значение напряжения, отображаемое на цифровом дисплее.
3. Поместите раствор со средним значением концентрации ( $10^{-3}$  М или 10 ppm) на магнитную мешалку и начните перемешивание. Ополоснув электрод дистиллированной водой, промокните насухо и погрузите наконечник электрода в раствор. Когда показания установятся, запишите значение напряжения, отображаемое на цифровом дисплее.
4. Поместите раствор с самым высоким значением концентрации ( $10^{-2}$  М или 100 ppm) на магнитную мешалку и начните перемешивание. Добавьте 2 мл ISA. Ополоснув электрод дистиллированной водой, промокните насухо и погрузите наконечник электрода в раствор. Когда показания установятся, запишите значение напряжения, отображаемое на цифровом дисплее.
5. Используя полулогарифмическую бумагу, постройте график зависимости значений напряжения (по линейной оси) от концентрации (по логарифмической оси). Экстраполируйте калибровочную кривую до приблизительного значения  $2,0 \times 10^{-6}$  М. На Рисунке 3 представлена типичная калибровочная кривая.

**Рисунок 3**

Типичная калибровочная кривая калий-селективного электрода

Электродный потенциал (мВ)



Экстраполируйте кривую до приблизительного значения  $1 \times 10^{-5}$  М или 0,4 ppm.

- В чистую сухую мензурку объемом 150 мл налейте 100 мл пробы и 2 мл раствора ISA. Поместите мензурку на магнитную мешалку и начните перемешивание. Ополоснув электрод дистиллированной водой, промокните насухо и погрузите наконечник в раствор. Ополоснув электрод дистиллированной водой, промокните насухо и погрузите наконечник электрода в раствор. Когда показания установятся, запишите значение напряжения, отображаемое на цифровом дисплее.
- Необходимо выполнять повторную калибровку каждые 1-2 часа. Просто повторите описанные выше шаги 2–5.

### Определение низких значений концентраций калия

Данная процедура рекомендована для растворов с ионной силой меньше  $1,0 \times 10^{-2}$  М. Для раствора с высоким значением ионной силы, но низкой концентрацией калия используйте ту же процедуру, только приготовьте калибровочный раствор, аналогичный по составу пробе.

- Разбавьте дистиллированной водой 20 мл эталонного раствора ISA до 100 мл.
- Для измерений в молях на литр разбавьте 1 мл эталонного раствора с концентрацией 0,1 М до 100 мл, чтобы приготовить эталонный раствор с концентрацией  $1,0 \times 10^{-2}$  М. Для измерений в ppm разбавьте 10 мл эталонного раствора с концентрацией 1000 ppm, чтобы приготовить эталонный раствор с концентрацией 100 ppm. Свежие эталонные растворы необходимо готовить ежедневно.
- В мензурку объемом 150 мл налейте 100 мл дистиллированной воды и 1 мл раствора ISA с низким значением концентрации. Поместите мензурку на магнитную мешалку и начните перемешивание на постоянной скорости.
- Поместите наконечник электрода в раствор. Убедитесь, что Science Workshop работает.
- Добавляйте эталонный раствор с концентрацией  $1,0 \times 10^{-3}$  М или 100 ppm в объемах, указанных ниже в Таблице 2.
- Когда показания установятся, запишите значение напряжения, отображаемое на цифровом дисплее.

**ТАБЛИЦА 2: Поэтапная калибровка для измерений низких значений концентрации калия**

Шаг	Дозатор	Добавленный объем (мл)	Концентрация	
			М	ppm
1	A	0,1	$1,0 \times 10^{-6}$	0,1
2	A	0,1	$2,0 \times 10^{-6}$	0,2
3	A	0,2	$4,0 \times 10^{-6}$	0,4
4	A	0,2	$6,0 \times 10^{-6}$	0,6
5	A	0,4	$9,9 \times 10^{-6}$	1,0
6	B	2,0	$2,9 \times 10^{-5}$	2,9
7	B	2,0	$4,5 \times 10^{-5}$	4,8

Дозатор А – градуированный дозатор вместимостью 1 мл

Дозатор Б – градуированный дозатор вместимостью 2 мл

Растворы: добавление эталонных растворов с концентрацией 100 ppm или  $1,0 \times 10^{-3}$  М к 100 мл дистиллированной воды и 1 мл раствора ISA для низких значений концентраций.

- Используя полулогарифмическую бумагу, постройте график зависимости значений напряжения, отображаемых на цифровом дисплее (по линейной оси), от концентрации (по логарифмической оси), как показано на Рисунке 3.

8. Ополосните электроды дистиллированной водой и промокните насухо.
9. Отмерьте 100 мл пробы в пластиковую мензурку объемом 150 мл и добавьте 1 мл раствора ISA для низких значений концентраций. Поместите мензурку на магнитную мешалку и начните перемешивание на постоянной скорости. Погрузите наконечник электрода в раствор. Когда показания стабилизируются, запишите значение потенциала, отображаемое на цифровом дисплее, и определите концентрацию по калибровочной кривой для низких значений. Каждый день необходимо строить новую калибровочную кривую для низких значений. Проверьте калибровочную кривую каждые 1-2 часа, повторяя описанные выше шаги 3-7.

## Характеристики электродов

### Воспроизводимость

Если калибровка проводится каждый час, значение воспроизводимости для измерений с помощью электрода составляет  $\pm 2\%$ . Такие факторы, как колебания температур, дрейф и нестабильность показаний ограничивают воспроизводимость. Воспроизводимость не зависит от концентрации, значение которой находится в рамках рабочего диапазона электрода.

### Ионы, создающие помехи

В таблице 3 представлен список некоторых стандартных катионов, присутствие которых в достаточно большом количестве при использовании калий-селективных электродов создает помехи для измерений, приводит к ошибкам или дрейфу показаний.

Дрейф показаний и медленный отклик могут сигнализировать о наличии сильных помех от перечисленных ионов. Поместите электрод (или электроды) в дистиллированную воду на один час, а затем на два часа в эталонный раствор калия, чтобы восстановить корректный отклик.

**ТАБЛИЦА 3 Концентрация ионов, создающих помехи и приводящих к ошибке 10%, для различных концентраций KCl; фоновая ионная сила равна 0,12 M NaCl.**

Ионы, создающие помехи (моль/л)	$10^{-2}$ M K <sup>+1</sup>	$10^{-3}$ M K <sup>+1</sup>	$10^{-4}$ M K <sup>+1</sup>
Cs <sup>+1</sup>	$3,0 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-5}$
NH <sub>4</sub> <sup>+1</sup>	$6,0 \times 10^{-2}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-4}$
П <sup>+1</sup>	$6,0 \times 10^{-2}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-4}$
H <sup>+1</sup>	$1,0 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-3}$
Ag <sup>+1</sup>	$1,0 \times 10^1$	1,0	$1,0 \times 10^{-1}$
+Tris <sup>+1</sup>	$1,0 \times 10^1$	1,0	$1,0 \times 10^{-1}$
Li <sup>+1</sup>	$2,0 \times 10^1$	2,0	$2,0 \times 10^{-1}$
Na <sup>+1</sup>	$2,0 \times 10^1$	2,0	$2,0 \times 10^{-1}$

+Tris<sup>+1</sup> – катион трис(гидроксиэтил)аминометана

Ионы, создающие помехи (ppm)	100 ppm K <sup>+1</sup>	10 ppm K <sup>+1</sup>	1 ppm K <sup>+1</sup>
Cs <sup>+1</sup>	1,0X10 <sup>2</sup>	1,0X10 <sup>1</sup>	1,0
NH <sub>4</sub> <sup>+1</sup>	2,7X10 <sup>2</sup>	2,7X10 <sup>1</sup>	2,7
Tl <sup>+1</sup>	3,14X10 <sup>3</sup>	3,14X10 <sup>2</sup>	3,14X10 <sup>1</sup>
H <sup>+1</sup>	1,6 pH	2,6 pH	3,6 pH
Ag <sup>+1</sup>	2,765X10 <sup>5</sup>	2,765X10 <sup>4</sup>	2,765X10 <sup>3</sup>
+Tris <sup>+1</sup>	3,105X10 <sup>5</sup>	3,105X10 <sup>4</sup>	3,105X10 <sup>3</sup>
Li <sup>+1</sup>	3,56X10 <sup>4</sup>	3,56X10 <sup>3</sup>	3,56X10 <sup>2</sup>
Na <sup>+1</sup>	1,179X10 <sup>5</sup>	1,179X10 <sup>4</sup>	1,179X10 <sup>3</sup>

## Влияние температуры

Т. к. электродные потенциалы зависят от изменений температуры, необходимо, чтобы разница температур проб и эталонных растворов составляла  $\pm 1$  °С. Разница температур в 1 °С приводит к ошибке в 2% при концентрации  $1,0 \times 10^{-3}$  М. Так как электрод зависит от равновесия растворимости, абсолютный потенциал электрода сравнения плавно изменяется в зависимости от температуры. Крутизна электродной функции, которая обозначается как множитель «S» в уравнении Нернста, также зависит от температуры. В Таблице 3 представлены значения множителя «S» в уравнении Нернста для иона калия. При изменении температуры необходимо провести повторную калибровку электродов.

В том случае, если равенство температур достигнуто, калий-селективные электроды могут использоваться постоянно при температурах 0–40 °С и периодически при температурах 40–50 °С. Рекомендуется проводить измерения при комнатной температуре, т. к. для измерений при температурах, значительно отличающихся от комнатной, время достижения теплового равновесия может достигать одного часа. В таблице 4 представлены теоретические значения крутизны электродной функции в зависимости от температуры.

**ТАБЛИЦА 4: Влияние температуры на теоретические значения крутизны электродной функции**

Температура (°С)	S (крутизна)
0	54,20
10	56,18
20	58,16
25	59,16
30	60,15
40	62,13
50	64,11

## Отклик электрода

График зависимости электродного потенциала в милливольтках от концентрации кальция, построенный на полулогарифмической бумаге, представляет собой прямую линию с крутизной около 56 мВ на декаду. (См. Рисунок 4)

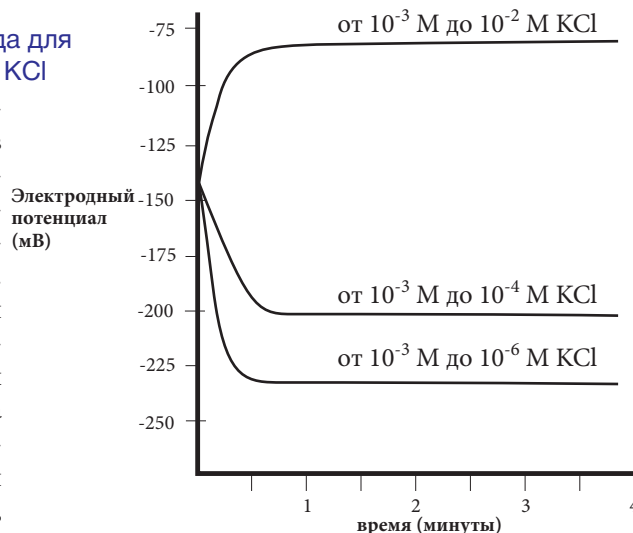
Время, необходимое для достижения стабильности полученных значений электродного потенциала 99% – время отклика электрода – может меняться от одной минуты и меньше для концентрации калия выше  $10 \times 10^{-5}$  М и до нескольких минут для концентраций, близких к пределу обнаружения.

## Пределы обнаружения

Верхний предел обнаружения составляет 0,1 М для чистых растворов хлорида калия. В присутствии других ионов верхний предел обнаружения будет выше  $10 \times 10^{-1}$  М калия. Однако, на величину верхнего предела влияют два фактора. Вероятность образования диффузионного потенциала на электроде сравнения и эффект экстрагирования солей оказывают влияние на величину верхнего предела. Некоторые соли при высокой концентрации могут экстрагироваться в мембрану электрода, что приводит к отклонению значения времени отклика от теоретического. Либо разбавляйте пробы со концентрацией между 1 М и  $1,0 \times 10^{-1}$  М, либо выполняйте калибровку электрода по 4 или 5 промежуточным точкам.

**Рисунок 4**  
Стандартное время отклика электрода для поэтапного изменения концентрации KCl

Нижний предел обнаружения определяется низкой растворимостью в воде ионного фильтра чувствительного модуля, которая является причиной отклонения значения времени отклика от теоретического. Теоретическое время отклика при низкой концентрации хлорида калия в сравнении с действительным временем отклика, представлено на Рисунке 3. Если проводится измерение растворов с концентрацией ниже  $1,0 \times 10^{-5}$  М ( $0,39$  ppm калия), рекомендуется использовать процедуру измерения для низких значений концентрации.



## Влияние pH

Ион водорода создает помехи при измерении низких уровней концентрации иона калия, несмотря на то, что электрод можно использовать в широком pH-диапазоне. Воспользуйтесь Таблицей 3, чтобы определить минимальную концентрацию pH, при которой измерения низкого значения концентрации калия могут проводиться с ошибкой, не превышающей 10%, вследствие помех, создаваемых ионом водорода.

## Обслуживание

### Хранение электрода

В течение короткого времени калий-селективный электрод можно хранить в эталонном растворе калия с концентрацией  $1,0 \times 10^{-2}$  М. Для хранения в течение более трех недель ополосните электрод, высушите его и закройте наконечник электрода резиновым колпачком. Если возможно, из электрода сравнения (или солевого мостика электрода сравнения) необходимо вылить заполняющий раствор и высушить электрод, заливочное отверстие закрыть резиновой муфтой, а резиновый колпачок поместить на наконечник электрода.

## Спецификации

Диапазон концентраций:	от 1 М до $1 \times 10^{-6}$ М (от $3,9 \times 10^4$ ppm до $4,0 \times 10^2$ ppm)
Диапазон pH:	2–12 (см. разделы «Влияние pH» и «Функционирование электрода»)
Диапазон температур:	0–40 °C (постоянные измерения) 40–50 °C (периодические измерения)
Сопротивление:	10–20 МОм
Воспроизводимость:	+2%
Пробы:	только водные растворы; органические растворители недопустимы
Размер:	Длина 110 мм Диаметр 12 мм Длина кабеля 1 м

## Руководство по разрешению проблем

Для решения проблемы необходимо определить ее, по очереди проверив все системные компоненты: электроды, эталонные растворы и реагенты, пробу и технику проведения измерений.

### Электрод

Для проверки электрода выполните проверочные действия, описанные в разделе **Проверка крутизны электродной функции**.

1. Для действий, описанных в разделе **Проверка крутизны электродной функции**, необходимо использовать дистиллированную или деионизированную воду.
2. Если время отклика электрода остается неудовлетворительным, обратитесь к разделам **Указания по измерению** и **Отклик электрода**. Повторите проверку крутизны.
3. Если время отклика электрода все еще остается неудовлетворительным, замените его другим калий-селективным электродом, пригодным к работе.
4. Если проблема сохраняется, возможно, используется низкокачественный реагент, в пробе присутствуют помехи или измерения проводятся неправильно.
5. Если невозможно выполнить тест с другим электродом, или если вы предполагаете, что проблема в используемом электроде, выполните следующие действия:
  - Тщательно очистите и ополосните электроды.
  - Подготовьте электроды должным образом.
  - Используйте подходящий заполняющий раствор.
  - Отрегулируйте pH и ионную силу раствора с помощью соответствующего раствора ISA.
  - Проводите измерения правильно и аккуратно.
  - Обратитесь к разделу **Указания по разрешению проблем**.

### Эталонные растворы и реагенты

В случае возникновения проблем с процедурой измерения, успешно использованной ранее, проверьте эталонные растворы и реагенты. Если вы сомневаетесь в надежности каких-либо растворов, приготовьте их заново. Ошибки могут возникать из-за загрязнения раствора ISA, неправильного разбавления эталонных растворов, плохого качества дистиллированной/деионизированной воды или просто из-за неправильных математических вычислений.

### Проба

Если электрод отлично работает в эталонном растворе, но не работает в пробе, ищите возможные ионы, создающие помехи, комплексообразующие вещества или вещества, которые могли бы повлиять на отклик или физически повредить чувствительный электрод.

Постарайтесь определить состав пробы до начала исследования, чтобы заранее выявить возможные проблемы. (Обратитесь к разделам **Указания по измерению**, **Требования к пробам** и **Ионы, создающие помехи**.)

### Техника проведения измерений

Убедитесь, что предел обнаружения электрода не превышен. Убедитесь, что метод анализа совершенно понятен, и что его можно применять для данной пробы.

Еще раз прочитайте руководство пользователя, особенно разделы **Общая подготовка** и **Характеристики электродов**. Если проблемы сохраняются, позвоните в техническую поддержку PASCO.

## Указания по разрешению проблем

Симптом	Возможные причины	Следующий этап
Показания вне заданного диапазона	неисправный электрод	проверьте правильность функционирования электрода
	не подключен должным образом	отключите электрод и повторно подключите его
	электрод сравнения не заполнен	необходимо заполнить электрод сравнения
	пузырьки воздуха на мембране	удалите пузырьки, повторно погрузив электрод
Неустойчивые или нестабильные показания (показания постоянно или произвольно меняются)	пузырьки воздуха на мембране	удалите пузырьки, повторно погрузив электрод
	на электрод воздействуют ионы, создающие помехи	поместите электрод в эталонный раствор калия
	неисправный электрод	замените электрод
	не используется раствор ISA	используйте рекомендованный раствор ISA
	измерительный прибор или мешалка не заземлены	заземлите мешалку
Дрейф (показания медленно изменяются в одном направлении)	разная температура проб и эталонных растворов	до начала измерений подождите, пока растворы достигнут комнатной температуры
	на электрод воздействуют ионы, создающие помехи	поместите электрод в эталонный раствор калия
	некорректный заполняющий раствор в электроде сравнения	используйте рекомендованный заполняющий раствор
Значение крутизны низкое или отсутствует	эталонные растворы загрязнены или приготовлены некорректно	приготовьте свежие эталонные растворы
	эталонный раствор использован вместо раствора ISA	используйте раствор ISA
	не используется раствор ISA	используйте рекомендованный раствор ISA
	на электрод воздействуют ионы, создающие помехи	поместите электрод в эталонный раствор калия
«Неверный ответ» (при правильно построенной калибровочной кривой)	пузырьки воздуха на мембране	удалите пузырьки, повторно погрузив электрод
	некорректный масштаб полулогарифмической бумаги	значение напряжения откладывайте по линейной оси. На логарифмической оси убедитесь, что числа, соответствующие значениям концентрации, в каждой декаде увеличиваются с увеличением концентрации
	некорректный знак	убедитесь в корректности знака значения потенциала, выраженного в милливольтгах
	некорректные эталонные растворы	приготовьте свежие эталонные растворы
использование неправильных единиц измерений	используйте правильный коэффициент пересчета: $10^{-3} \text{ M} = 39,1 \text{ ppm K}^{+1} = 74,6 \text{ ppm KCl}$	





## Техническая поддержка

### Обратная связь

Если у вас есть комментарии, касающиеся продукта или руководства, пожалуйста, свяжитесь с нами. Если вы можете предложить альтернативные эксперименты, или в случае обнаружения ошибки в руководстве, пожалуйста, сообщите нам. PASCO ценит обратную связь от заказчика. Ваше участие помогает нам оценивать и улучшать наш продукт.

### Контакты

Для получения технической поддержки позвоните по телефону 1-800-772-8700 (звонок бесплатный в США) или (916) 786-3800.

Факс: (916) 786-3292

E-mail: [techsupp@pasco.com](mailto:techsupp@pasco.com)

Сайт: [www.pasco.com](http://www.pasco.com)

### Обращение в техническую поддержку

Перед обращением в техническую поддержку PASCO подготовьте следующую информацию:

► Если ваш вопрос касается устройства PASCO, запишите:

- Наименование и номер модели (обычно указаны в маркировке)
- Приблизительный срок службы устройства
- Подробное описание проблемы, последовательность событий (чтобы вы не потеряли ценную информацию в случае, если вы не можете позвонить в PASCO незамедлительно);
- По возможности при обращении имейте под рукой устройство, чтобы упростить описание отдельных компонентов.

► Если ваш вопрос касается руководства пользователя, запишите:

- Номер компонента и редакции (месяц и год указаны на обложке);
- Имейте руководство под рукой, чтобы обсудить ваши вопросы.

